Agriculture Canada

Publication 1647/F

Dommages causés aux fruits et aux légumes en entreposage commercial sous atmosphère contrôlée

Canada

91-02963/

Dommages causés aux fruits et aux légumes en entreposage commercial sous atmosphère contrôlée

Rédacteurs

P.D. Lidster
Station de recherche
Kentville, Nouvelle-Écosse

G.D. Blanpied
Département de pomologie
Université Cornell
Ithaca, New York

R.K. Prange
Station de recherche
Kentville, Nouvelle-Écosse

Agriculture Canada Publication 1847/F
On peut en obtenir des exemplaires à la
Direction générale des communications
Agriculture Canada, Ottawa (Ont.) K1A 0C7

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990
No de cat. A53-1847/1990F ISBN 0-662-96326-1
Imprimé en 1990 2M-12:90

Production du Service aux programmes de recherche

Also available in English under the title
Controlled-atmosphere disorders of commercial fruits and vegetables

Co-auteurs

Dr. R.E. Anderson
Horticulture Science Institute
Horticultural Crops Quality Laboratory
Building 002
Agriculture Research Center-West
Beltsville, MD 20705
U.S.A.

Dr. M.L. Arpaia
Department of Botany and Plant Science
University of California
Riverside, CA 92521
U.S.A.

Dr. G.D. Blanpied
Department of Pomology
Cornell University
Ithaca, NY 14853
U.S.A.

Dr. P.M. Chen
3005 Experimental Station Drive
Mid Columbia Experimental Station
Hood River, OR 97031
U.S.A.

Mr. Randall H. Cubbedge
U.S. Department of Agriculture
Agriculture Research Service
U.S. Horticultural Research
Orlando, FL 32803
U.S.A.

Dr. J.R. Hicks
Department of Vegetable Crops
Cornell University
Ithaca, NY 14853
U.S.A.

D.S. Johnson
Fruit Storage Section
Institute of Horticultural Research
East Malling
Maidstone, Kent ME19 GBJ
ENGLAND

Dr. A.A. Kader
Department of Pomology
University of California
Davis, CA 95616
U.S.A.

Dr. O.L. Lau
Okanagan Federated Shippers Association
c/o Agriculture Canada
Research Station
Summerland, B.C.
CANADA
VOH 1Z0

Dr. P.D. Lidster
Agriculture Canada
Research Station
Kentville, N.S.
CANADA
B4N 1J5

Dr. W.J. Lipton
U.S. Department of Agriculture
Quality Maintenance and Transportation
2021 South Peach Avenue
Fresno, CA 93727
U.S.A.

Dr. E.C. Lougheed
Department of Horticultural Science
Guelph, Ont.
CANADA
N1G 2W1

Dr. J.F. Masters
Department of Vegetable Crops
Cornell University
Ithaca, NY 14853
U.S.A.

Dr. M.E. Patterson
Department of Horticulture
Washington State University
Pullman, WA 99165
U.S.A.

Dr. S.W. Porritt
1711 Wharf Street
Summerland, B.C.
CANADA
V0H 1Z0

Dr. A.C. Purvis
Department of Horticulture
University of Georgia
Coastal Plain Experiment
Station
Tifton, GA 31793
U.S.A.

Dr. M.E. Saltveit
Department of Vegetable Crops
Mann Laboratory
University of California
Davis, CA 95616
U.S.A.

Dr. A.E. Watada
Horticulture Science Institute
Horticultural Crops Quality
Laboratory
Building 002
Agriculture Research
Center-West
Beltsville, MD 20705
U.S.A.

Dr. C.Y. Wang
Horticulture Science Institute
Horticultural Crops Quality
Laboratory
Building 002
Agriculture Research
Center-West
Beltsville, MD 20705
U.S.A.

TABLE DES MATIÈRES

Pommes 7
Dommages causés par les faibles taux d'oxygène 7
Dommages causés par le dioxyde de carbone 11
Détériorations externes 14
Détériorations internes 18

Artichauts 26
Noircissement de la bractée et du réceptacle 26

Poires asiatiques 27
Brunissement du coeur ou de la chair médiane 27
Bronzage épidermique 27

Choux de Bruxelles 30
Décoloration des feuilles du coeur 30
Décoloration du tissu vasculaire (tige) 30

Choux 31
Brunissement du méristème 31
Brunissement général des feuilles 31

Choux-fleurs 34
Décoloration des inflorescences 34
Décolarations des inflorescences cuites 34

Cerises douces 35
Dommages causés par le dioxide de carbone et les faibles taux d'oxygène 35
Décoloration du pédoncule 38
Noircissement du fruit 38
Exsudation et brunissement du fruit en surface 38
Odeurs et arômes atypiques 39

Agrumes 42
Échaudure de l'épiderme et odeurs atypiques 42
Échaudure de l'épiderme 42

Melon honeydew 43
Épiderme engorgé et fissuré 43

Kiwi 44
Durcissement du coeur 44
Translucidité du péricarpe 44
Granulation du péricarpe 46
Inclusion blanche 46

Laitue 50
Feuilles engorgées d'eau 50
Tache brune 50
Dommages causés aux feuilles du coeur 50

Pêches et nectarines 51
Brunissement de la peau 51
Décoloration de la chair 51

Poires 55
Coeur brun de l'Anjou 55
Coeur brun médulleux de la Bosc 55
Formation de cavernes ou brunissement de la chair de la Bartlett 55
Brunissement prononcé de la peau de l'Anjou 55

Fraises 56
Fraises foncées ou pourpres 56

Bibliographie 57

POMMES

G.D. Blanpied, D.S. Johnson, O.L. Lau, P.D. Lidster, E.C. Lougheed et S.W. Porritt

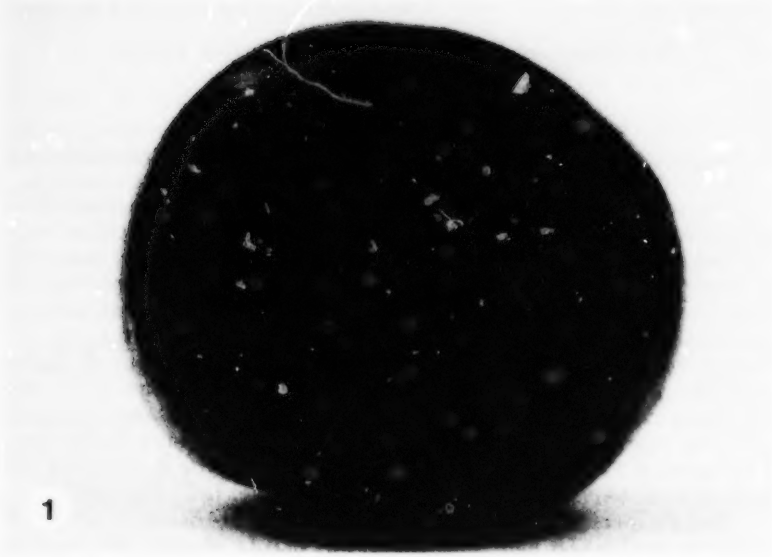
DOMMAGES CAUSÉS PAR LES FAIBLES TAUX D'OXYGÈNE

Ils se manifestent parfois dans les entrepôts à atmosphère contrôlée lorsque le dispositif d'échantillonnage de l'atmosphère fuit à l'air et que, dans les locaux, le taux d'oxygène a descendu sous 2 %. Habituellement, le taux de dioxyde de carbone serait supérieur au taux recommandé et, avec le concours des faibles taux d'oxygène, il provoque des dommages graves, que l'on ne peut imputer ni à l'un ni à l'autre de ces gaz. Les dommages peuvent aussi frapper de façon aléatoire les pommes en entreposage commercial sous atmosphère peu oxygénée (de 1,0 à 1,5 %), une forte proportion des fruits étant touchée dans les cas graves. En entreposage commercial sous faible taux d'oxygène, il est peu probable que le taux de dioxyde de carbone soit suffisamment élevé pour interagir avec les faibles taux d'oxygène.

Peu d'expériences ont porté sur la vulnérabilité des cultivars, et la présente évaluation peut souffrir du fait que la plupart des travaux effectués dans le nord-est de l'Amérique du Nord sur l'entreposage des pommes sous atmosphère contrôlée ont porté sur les McIntosh. Toutefois, des études comparatives (Lougheed et Franklin, 1968 et 1969) et des observations préliminaires montrent que la McIntosh peut être parmi les pommes les plus sensibles aux faibles taux d'oxygène, du moins pour ce qui est des dommages visibles (fig. 4, 5, 6, 7, 12 et 13); la Delicious est modérément sensible; la Northern Spy, l'Empire et la Spartan sont relativement insensibles. Par contre, selon Lidster et al. (1985), la Spartan peut y être plus sensible que la McIntosh.

Les symptômes extérieurs sont semblables à ceux de l'échaudure molle (Pierson et al., 1971), c'est-à-dire des taches brunâtres, nettement marginées sur la peau, petites (Anderson, 1967) à grandes au point de couvrir la plus grande partie du fruit. L'intensité du brun peut dépendre de la couleur du fond; elle est moindre sur la McIntosh que sur la Delicious (pour cette dernière, voir Anderson, 1967). À l'intérieur, les dommages sont les suivants : chair brunâtre et liégeuse, parfois percée de cavernes, et ils peuvent être contigus aux dommages externes. Le tissu indemne peut-être ferme et visiblement intact. La lésion externe peut aussi se trouver dans une partie du fruit en état de putréfaction, mais, souvent, sauf dans les stades avancés, le contour net de la blessure d'origine subsiste.

Comme symptômes supplémentaires, on observe une atteinte alcoolique envahissante (brunissement de la chair) (Smock, 1977), parfois le blanchiment ou l'échaudure de la peau, la coloration pourpre des parties parsemées de rouge de la peau, et des odeurs ainsi que des



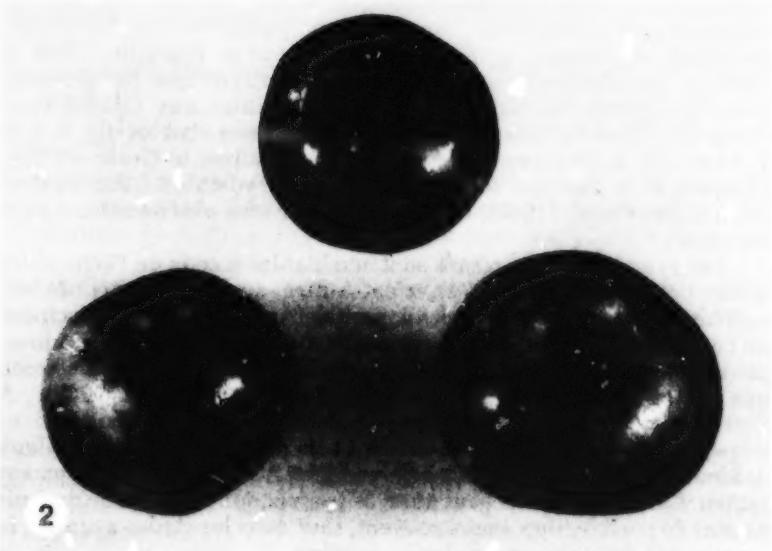
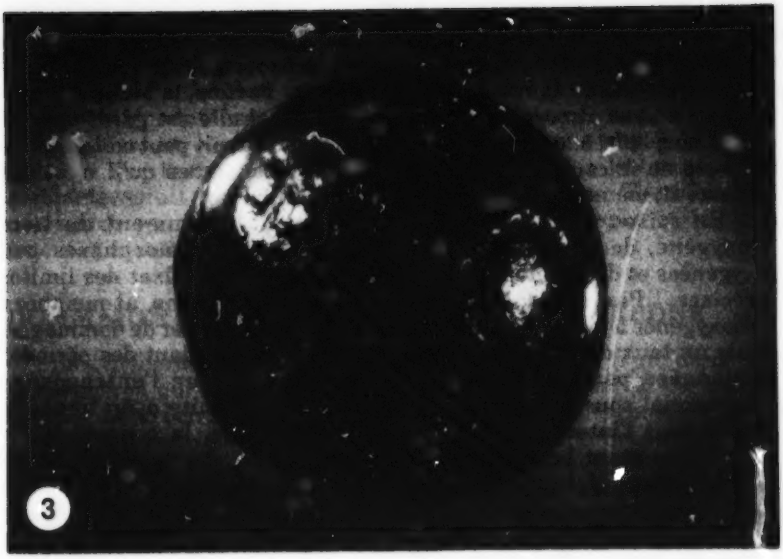


Fig. 1 Décoloration causée par l'abrasion durant la manutention de la pomme McIntosh, après l'entreposage en atmosphère peu oxygénée. Les plaques peuvent être confondues avec l'échaudure (superficielle) d'entreposage.

Nota: Figure reproduite de Lougheed et al., 1982, avec leur aimable permission.

Fig. 2 Détérioration superficielle sur des pommes McIntosh causée par le dioxyde de carbone.



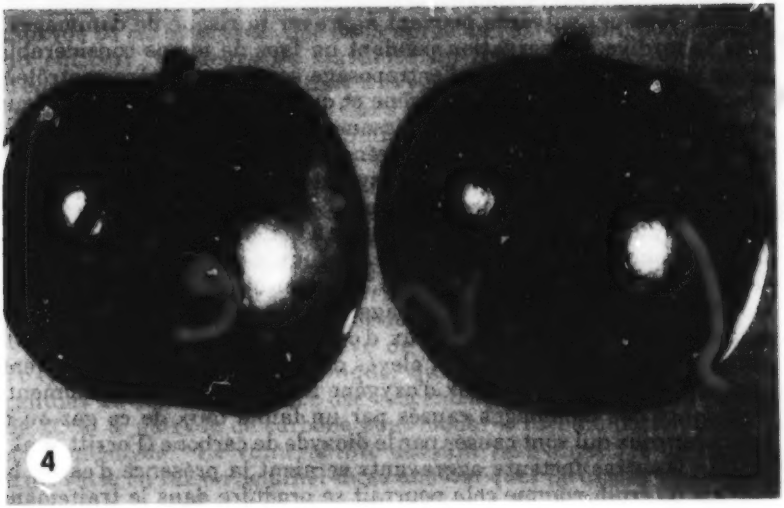


Fig. 3 Détérioration superficielle sur la pomme McIntosh causée par le dioxyde de carbone.

Fig. 4 Pomme McIntosh à l'épiderme noirci (*à droite*) et pommes indemnes conservées dans 2 % de dioxyde de carbone et dans 1,0 % d'oxygène à 3 °C (*à gauche*).

goûts d'alcool. La détection des goûts atypiques est rendue plus difficile par le fait que le fruit peut mûrir lentement sous atmosphère peu oxygénée et même dans l'air par la suite; le goût perçu peut être en partie associé à la non-maturité du fruit. Parfois, la McIntosh peut se fendre sous atmosphère peu oxygénée ou si elle est gardée par la suite dans l'air, à la température ambiante. Le fruit peut conserver sa fermeté et sa couleur de fond qui reste verte, signes qu'il n'est pas sénescent, même si, chronologiquement, il est vieux.

En raison de l'interaction des facteurs, notamment du taux d'oxygène, de la longueur de l'exposition aux atmosphères peu oxygénées et de la température, il est impossible de fixer des limites précises. Par exemple, un court séjour dans une atmosphère désoxygénée à 0 ou à 3 °C n'est pas susceptible de causer de dommages, mais un taux d'un peu moins de 2 % d'oxygène pendant des périodes prolongées peut exercer un effet négatif. Pour l'entreposage commercial sous atmosphère peu oxygénée, la limite opérationnelle serait dans l'intervalle de 0,8 à 1,5 % d'oxygène, la concentration supérieure étant beaucoup moins avantageuse. Toutefois, il arrive que la pomme McIntosh, entreposée pendant une longue période sous une atmosphère de 0,5 % d'oxygène, ne subit pas de dommage attribuable au faible taux d'oxygène si les pommes sont soigneusement choisies.

Les facteurs suivants peuvent aggraver le risque de dommages : récolte tardive, conservation pendant un laps de temps considérable (plus d'une semaine) avant l'entreposage sous atmosphère contrôlée, abaissement lent du taux d'oxygène et dissipation lente de la chaleur de la récolte (c'est-à-dire, refroidissement lent) (Lidster et al., 1985). On notera que ces facteurs sont généralement ceux qui causent le vieillissement du fruit et que les symptômes sont plus susceptibles d'être l'empoisonnement progressif par l'alcool ainsi que la sénescence interne plutôt que ceux qui sont montrés à la figure 12.

La dissipation retardée de la chaleur de la récolte, la basse température d'entreposage (sous 3 °C) ainsi que les taux fluctuants d'oxygène (de 1,0 à 2,5 % ou plus) aggraveraient les dommages causés à la McIntosh par un faible taux d'oxygène (Lidster et al., 1985). Durant l'entreposage, les taux élevés de dioxyde de carbone peuvent concourir, avec le faible taux d'oxygène à augmenter, apparemment, l'incidence des dommages causés par un faible taux de ce gaz ou à aggraver ceux qui sont causés par le dioxyde de carbone (Porritt et al., 1982). D'autres facteurs aggravants seraient la présence d'eau à la surface du fruit, comme cela pourrait se produire dans le traitement préventif de l'échaudure d'entreposage (Lidster et al., 1985) ou du fait de la condensation à une humidité relative élevée.

Le risque d'endommagement causé par de faibles taux d'oxygène peut être abaissé par le maintien des atmosphères recommandées, par la réduction au minimum des fluctuations de ces dernières, par la sélection de fruits récoltés tôt, par le refroidissement de ces derniers et leur entreposage immédiat sous des atmosphères contrôlées.

Lidster et al. (1985) ont constaté que la succession, en intermittence, de taux d'oxygène faibles et élevés (entre 1,0 et 21 %) durant l'entreposage peut provoquer l'anaérobiose et des dommages causés par de faibles taux d'oxygène. L'aération abaisse les concentrations internes d'alcool et élimine ainsi une partie des goûts et des odeurs atypiques, si les dommages ne sont pas trop graves. On présume que l'aération au sortir de l'entreposage, à la température ambiante, serait plus efficace que durant l'entreposage. Toutefois, elle ne retarde pas l'apparition d'autres types de dommages et le tissu externe touché peut commencer à pourrir.

DOMMAGES CAUSÉS PAR LE DIOXYDE DE CARBONE

Ils proviennent souvent de la conservation du fruit dans des atmosphères qui dépassent la tolérance de ce dernier à l'égard du dioxyde de carbone. On peut les observer chez les fruits conservés sous atmosphère contrôlée, emballés dans des récipients hermétiques ou transportés dans des contenants ou des véhicules mal aérés. Ils s'observent aussi chez les fruits soumis à des taux élevés de dioxyde de carbone (ex. de 10 à 20 % pendant 10 jours ou plus) avant d'être entreposés sous atmosphère contrôlée.

Leur incidence et leur ampleur sont sous l'influence du taux de dioxyde de carbone ainsi que de la durée de l'exposition, de la nature du cultivar, du degré de maturité du fruit, de la température d'entreposage ainsi que du taux d'oxygène. Les cultivars vulnérables comprennent la Cortland, la Cox's Orange Pippin, la Fameuse, la Golden Delicious, la Granny Smith, la Jonathan, la McIntosh. la Northern Spy, la Rome Beauty et la Wealthy. Les cultivars très vulnérables tels que la Newton Wonder sont touchés, intérieurement, sous atmosphère de 3 % seulement de dioxyde de carbone, tandis que les résistants, tels que le Worcester Pearmain, tolèrent des taux allant jusqu'à 13 %. Le degré d'endommagement varie également selon les régions de pomiculture, les vergers et même parmi les lots qui proviennent de différentes parties du verger.

Un taux modérément élevé de dioxyde de carbone empêche l'oxydation de l'acide succinique, qui peut s'accumuler dans les cellules au point d'atteindre des concentrations toxiques. Au-dessus de 20 %, le dioxyde de carbone peut mener à l'accumulation toxique d'acétaldéhyde. La vulnérabilité des cultivars ainsi que de chaque fruit varie en raison de différences anatomiques (grosseur de l'espace intercellulaire, vitesse de diffusion des gaz dans les tissus) plutôt que biochimiques. Le dioxyde de carbone se diffuse dans les tissus du fruit plus lentement que l'oxygène; ce dernier se trouve presque aux concentrations ambiantes de sorte que l'on observe rarement les dommages causés par de faibles taux d'oxygène même lorsque ceux qui sont attribuables au dioxyde de carbone sont considérables.

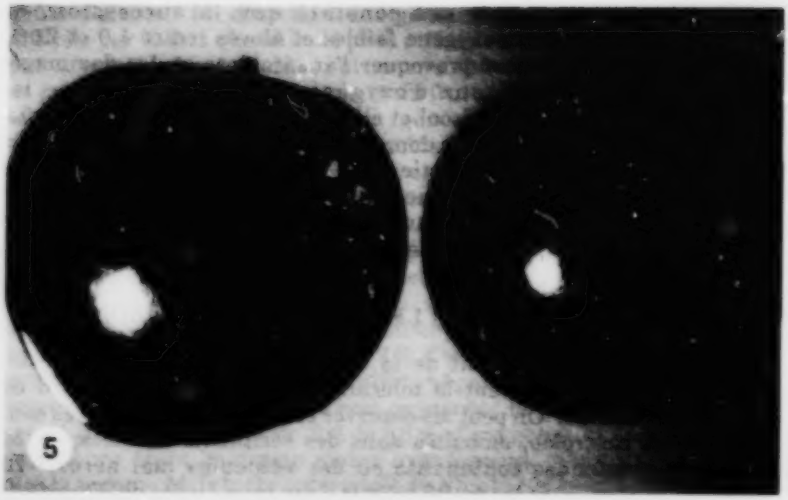


Fig. 5 Pomme Spartan à l'épiderme noirci (*à droite*) et pomme indemne conservée dans 0,2 % de dioxyde de carbone et dans 1,0 % d'oxygène à 3 °C (*à gauche*).

Fig. 6 Fissuration de l'épiderme d'une pomme McIntosh entreposée dans 0,2 % de dioxyde de carbone et dans 1,0 % d'oxygène à 3 °C.

Fig. 7 Détérioration superficielle attribuable aux faibles taux d'oxygène, sur une pomme McIntosh. L'endommagement est suffisamment grave pour toucher l'intérieur du fruit ou pour provoquer l'envahissement alcoolique.

Fig. 8 Brunissement diffus de la chair (avec formation de cavernes) d'une pomme Golden Delicious entreposée sous atmosphères à taux élevé de dioxyde de carbone.

L'acquis récent des connaissances dans les domaines de la récolte, de la manutention, de l'entreposage et du transport des fruits a presque éliminé l'incidence de ce dommage chez les pommes entreposées sous atmosphères contrôlées, sauf chez certains lots de Golden Delicious traités à des taux élevés de dioxyde de carbone avant d'être mis en entreposage commercial sous atmosphères contrôlées (Couey et Olsen, 1975; Lau et Looney, 1978). Le remplacement de ce traitement par un passage rapide sous atmosphère contrôlée (c'est-à-dire chargement, puis réduction du taux d'oxygène rapides) conserve aux fruits leur fermeté sans leur porter préjudice (Lau, 1983).

DÉTÉRIORATIONS EXTERNES

Bronzage de l'épiderme (lésions molles)

Le bronzage de l'épiderme fait suite à des dommages mécaniques provoqués à la surface du fruit après le début de son entreposage sous atmosphère contrôlée ou peu oxygénée. La coloration de la partie atteinte, qui n'est endommagée qu'en surface, varie du brun pâle au brun foncé sur les parties rouges du fruit ou se situe dans le jaune brunâtre sur les parties vertes. La marge de la zone blessée peut être bien marquée, correspondant à la bordure de la meurtrissure ou de l'abrasion (fig. 1). La partie blessée se distingue de l'échaudure d'entreposage par sa bordure nette.

L'étendue de l'endommagement est d'habitude moindre chez le fruit retiré d'un entreposage sous atmosphère contrôlée que chez le fruit entreposé sous atmosphère peu oxygénée. La température (0 ou 23 °C) ou la durée après la récolte influent peu sur l'apparition des symptômes durant l'exposition à l'air après que les dommages ont été provoqués.

Le bronzage peut survenir chez les McIntosh qui ont été entreposées en atmosphère peu oxygénée (de 1,0 à 1,5 %) durant le classement et l'emballage, après un entreposage prolongé ou en tout temps durant une période ultérieure de garde. Son incidence peut être supprimée ou réduite grâce à la réduction au minimum des meurtrissures ainsi que des écorchures-abrasions durant l'emballage et le classement ou dans les emballages sous lesquels le fruit est vendu au consommateur.

Bronzage de l'épiderme (lésions rugueuses ou déprimées)

Les dommages externes provoqués par le dioxyde de carbone, accompagnés ou non de dommages internes, se manifestent sur la peau par des lésions aux formes irrégulières, rugueuses, brun jaunâtre à brun tirant sur le jaune lin, souvent en partie déprimées et à la bordure très nette (fig. 2 et 3). Ces lésions apparaissent sur la peau du fruit dès la première ou deuxième semaine après pré-entreposage sous atmosphère à taux élevé de dioxyde de carbone (c'est-à-dire 14 % au moins d'oxygène pendant 10 jours ou 10 % de dioxyde de carbone

pendant au moins 14 jours). L'incidence et la gravité des lésions ne s'accroissent pas avec la prolongation de l'entreposage sous atmosphère contrôlée. Toute la surface du fruit est susceptible d'être touchée, mais c'est surtout le tour de l'oeil des Golden Delicious ainsi que les parties vertes des McIntosh qui sont le plus touchés. La surface endommagée peut varier en étendue : soit d'une petite tache jusqu'à 75 % de toute la surface de la peau.

Il y a corrélation positive entre l'incidence et la gravité des dommages, la concentration de dioxyde de carbone, la durée de l'exposition de même que la non-maturité du fruit, l'humidité libre à la surface de ce dernier ainsi que l'établissement rapide des concentrations de dioxyde de carbone avant le refroidissement du fruit. Les fruits d'arbres vigoureux ayant donné une petite récolte, les fruits à forte teneur en azote ou en manganèse ainsi que les fruits endommagés par le gel sont les plus exposés. L'interaction entre la température et le taux d'oxygène n'a pas été clairement établie.

Noircissement du pigment de l'épiderme

La décoloration de l'anthocyanine ou de la chlorophylle de la peau (fig. 4 et 5) est un symptôme des dommages causés par un faible taux d'oxygène. Le noircissement des tissus épidermiques peut être le premier symptôme visible d'anoxie chez les pommes, mais, dans certains cas, il peut ne pas être évident, même avec d'autres symptômes. L'anthocyanine ou pigment rouge de l'épiderme de la pomme est le premier à noircir en réaction à un début d'anaérobiose; le noircissement est réversible, si l'on retire les pommes du milieu peu oxygéné et qu'on les place à l'air, soit à 0 ou à 20 °C. Le maintien de l'exposition aux faibles concentrations auxquelles sont imputables les dommages aggrave le noircissement du pigment et amène, lorsque les dommages sont graves, le noircissement des parties vertes (chlorophylle) de l'épiderme.

Fissuration de l'épiderme

La fissuration de l'épiderme (fig. 6) des fruits conservés à moins de 1,5 % d'oxygène est une forme de dommages causés par les faibles taux de ce gaz. Il faut distinguer le phénomène de la maladie de la pomme devenue farineuse (Porritt et al., 1982) en ce qu'il ne résulte pas du vieillissement du tissu, mais qu'il constitue plutôt une réaction à l'exposition à des atmosphères peu oxygénés. Le tissu de la chair, sous l'épiderme fissuré, est habituellement sec et farineux et cède facilement sous la pression du doigt ou du pouce. La fissuration provoquée par les faibles taux d'oxygène peut être aggravée par la forte humidité de l'entreposage et peut être associée au noircissement de l'épiderme et à d'autres symptômes des dommages causés par les faibles taux d'oxygène.

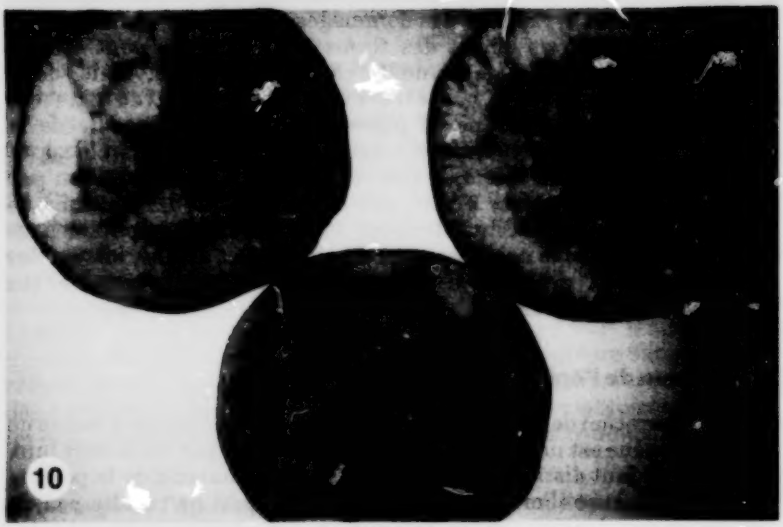


Fig. 9 Brunissement du coeur (avec formation de cavernes) des pommes McIntosh entreposées sous atmosphères à taux élevé de dioxyde de carbone.

Fig. 10 Brunissement de la chair médiane (avec formation de cavernes) de pommes Northern Spy entreposées sous atmosphères à taux élevé de dioxyde de carbone.

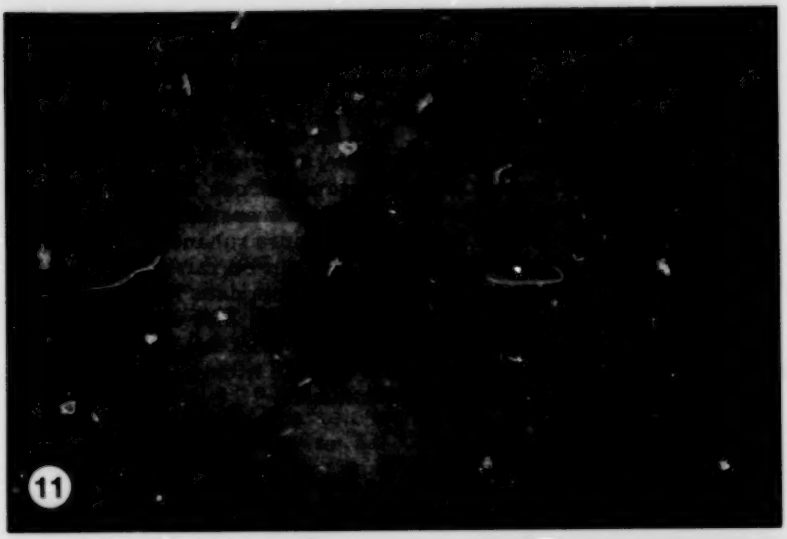


Fig. 11 Brunissement liégeux de la chair de la pomme McIntosh entreposée sous atmosphères peu oxygénées.

Fig. 12 Brunissement de la chair médiane (avec formation de cavernes) de pommes McIntosh entreposées sous atmosphères peu oxygénées.

Échaudure rubanée

Provoquée par les atmosphères à faible taux d'oxygène, elle se présente sous la forme de lésions lisses, brunes, à formes irrégulières, nettes, sur la peau (fig. 7) et ressemble à l'échaudure molle provoquée par le froid (Porritt et al., 1982). Elle ne touche que l'épiderme, dans les premiers stades, mais gagne la chair, à mesure que les symptômes s'aggravent. Une pomme peut être touchée par une ou plusieurs lésions bien nettes, et toutes ses parties peuvent être touchées, sans égard à la coloration de la peau. L'échaudure rubanée, toutefois, est plus frappante sur les parties vertes du fruit en raison du contraste qu'elle forme avec cette couleur. La détection, dans les fruits gardés sous atmosphère à 1,5 % d'oxygène ou moins met en évidence les premiers stades de la respiration anaérobie et est le signal de la nécessité de ramener le fruit à l'entreposage atmosphérique de 0 °C, afin d'empêcher l'aggravation des dommages.

DÉTÉRIORATIONS INTERNES

Brunissement du coeur ou de la chair

Cette détérioration attribuable au dioxyde de carbone porte également le nom de pomme vitreuse ou de coeur brun, et elle se manifeste par la présence d'un tissu du coeur ou du cortex brun et nécrosé, bien délimité, ferme et humide, mais se desséchant rapidement avec le transfert de l'humidité aux parties saines environnantes (fig. 8, 9 et 10). À mesure que le dessèchement se poursuit, des cavernes se forment, dont les parois sont constituées d'un tissu sec, brun pâle. L'aspect extérieur du fruit reste normal, sauf si la détérioration est grave au point de faire apparaître des dépressions.

Chez certains cultivars, le tissu qui se trouve près des principaux conduits vasculaires, à la périphérie du coeur, est le plus vulnérable aux détériorations. Chez d'autres, de petites zones clairsemées peuvent apparaître uniquement autour du coeur, ou des zones brunes peuvent apparaître au hasard, dans la chair. La détérioration s'arrête lorsque les causes sont supprimées.

En général, la vulnérabilité à cet endommagement interne augmente avec la grosseur et la maturité du fruit, le refroidissement tardif de ce dernier, la basse température d'entreposage ainsi que le faible taux d'oxygène. La vulnérabilité aux dommages internes et externes attribuables au dioxyde de carbone diffère d'un arbre à l'autre et est modifiée par les écarts saisonniers. Des études sur la Golden Delicious ne montrent aucune corrélation entre la composition minérale du fruit et la tolérance au dioxyde de carbone, mais elles montrent une corrélation positive entre la teneur en azote du fruit et la gravité des dommages. Les cultivars vulnérables au dioxyde de carbone comprennent la McIntosh, la Cortland, la Cox's Orange Pippin, la Fameuse ainsi que la Northern Spy; la Spartan, la Delicious et la Golden Delicious sont moins susceptibles de manifester des

symptômes internes ou externes. Pour plus de renseignements, consulter Bramlage et al., 1977, Carne et Martin, 1938; Dewey, 1962; Eaves et Hill, 1940; Faust et al., 1969; Fidler et Mann, 1972; Fidler et al., 1973; Hulme, 1956; Knee, 1973; Lau et Looney, 1977; Meheriuk et al., 1977; Padfield, 1969; Pierson et al., 1971; Plagge et al., 1935; Smock, 1977.

Brunissement liégeux de la chair

Cette nécrose se manifeste dans la chair des McIntosh entreposées sous atmosphère de 1,0 à 1,2 % d'oxygène à 1,7 °C pendant plus de 6 mois ou sous atmosphère de 2,5 % d'oxygène à la même température pendant plus de 8 à 9 mois. Cette détérioration n'a pas été observée chez certains fruits entreposés à l'air à 0 °C au cours des neuf premiers mois. En outre, elle n'a pas été observée chez les cultivars tels que la Golden Delicious, la Spartan ou la Red Delicious gardés sous atmosphère de 1,0 % d'oxygène, à 0 °C pendant 10 mois.

Ses symptômes consistent en l'apparition de régions délimitées de tissu sec, liégeux, brun, dans les deux tiers supérieurs du fruit, soit sous la peau ou séparés de cette dernière par une mince épaisseur de tissu normal (fig. 11). La détérioration, au début, se trouve dans la partie extérieure du cortex et peut gagner sa partie interne; la formation de cavernes s'observe aux stades plus avancés (fig. 12). La formation de cavernes dans la chair, qui est causée par des atmosphères peu oxygénées, est d'habitude associée au brunissement liégeux de la chair.

L'évolution correspond à des températures d'entreposage basses (sous 3 °C) et à de faibles taux d'oxygène (sous 1,5 %), mais le fruit est indifférent aux concentrations de dioxyde de carbone dans la fourchette de 0,5 à 2,0 %. La maturité avancée du fruit, mise en évidence par l'observation de 1 µL/L d'éthylène interne chez au moins 10 % des fruits du lot, ainsi qu'un indice d'iode («iodure d'amidon») de 5 mènent aussi à l'apparition de la détérioration. L'incidence de ce dernier varie en outre de façon marquée d'un verger à l'autre et d'une saison à l'autre. On peut la réduire par l'entreposage à une température plus élevée (près de 3 à 4 °C), dans 1,0 à 2,5 % d'oxygène. La détérioration n'est pas nécessairement reliée à une faible teneur en calcium ou à une forte concentration de potassium par rapport au taux de calcium dans le fruit. Au cours d'une expérience visant à combattre le brunissement liégeux chez la McIntosh entreposée sous atmosphère de 1,0 % d'oxygène, la température s'est révélée beaucoup plus importante que la maturité à la récolte ou que la teneur optimale des pommes en minéraux.

Même si un faible taux d'oxygène (1,0 %) et de basses températures (1,7 °C) d'entreposage des McIntosh retardent la sénescence beaucoup plus qu'un taux d'oxygène de 2,5 % et qu'une température de 3,0 °C, ce régime peut également traumatiser

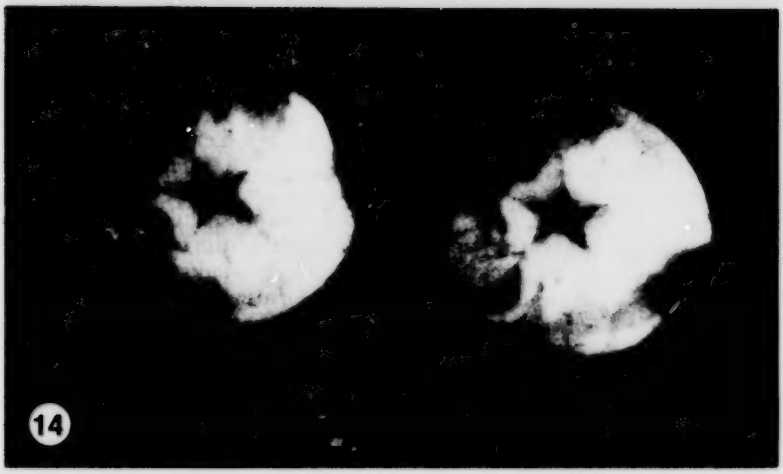


Fig. 13 Formation de tissu liégeux dans une pomme Cox's Orange Pippin entreposée pendant une longue période sous atmosphères peu oxygénées.

Fig. 14 Brunissement diffus, avec engorgement, de la chair de pommes McIntosh entreposées sous atmosphères peu oxygénées.

davantage les tissus du fruit, ce qui mène au brunissement liégeux de la chair. Il est également possible que, à basse température et à faible taux d'oxygène, le ralentissement excessif du métabolisme empêche les réactions anaboliques et cataboliques nécessaires au maintien des cellules, ce qui, par conséquent, accroît la vulnérabilité du fruit aux dommages causés par le refroidissement ou mène à une diminution de l'intégrité de la membrane, d'où l'apparition de symptômes accrus du brunissement liégeux. À l'instar du brunissement de la chair ou du coeur des McIntosh ou tout comme les détériorations observées à basse température chez les Cox's Orange Pippin, le brunissement liégeux est une détérioration attribuable à un faible taux d'oxygène qu'aggravent les basses températures, ce qui met en évidence le fait qu'une température plus élevée d'entreposage (3,0 °C au lieu de 1,7 °C) en réduit énormément l'incidence tant à 1,0 qu'à 2,5 % d'oxygène. Le brunissement liégeux de la chair se distingue de la sénescence ou du blettissement à basse température par le fait qu'il se déclenche dans le tissu sous l'épiderme, tandis que les deux autres détériorations commencent dans l'hypoderme.

Liège d'entreposage long de la Cox's Orange Pippin

Il s'agit d'une nécrose de la chair des Cox's Orange Pippin conservées dans 1,0 à 2,0 % d'oxygène pendant plus de 6 mois. Comme la durée maximale d'entreposage de la Cox's Orange Pippin dans 2,0 % d'oxygène est d'environ 6 mois, la détérioration ne revêt normalement d'importance commerciale chez les pommes conservées dans 1,0 à 1,25 % d'oxygène que lorsque l'entreposage peut être prolongé d'au plus 2 mois.

Le terme «liège» décrit les lésions normalement brun pâle et souvent sèches (fig. 13). Ces lésions se manifestent dans les régions corticales internes et externes du fruit et surtout, mais non exclusivement, entre l'équateur de ce dernier et la cuvette pédonculaire. Les lésions sont souvent diffuses et étendues et, dans les cas extrêmes, elles vont de la cuvette pédonculaire jusqu'à l'équateur du fruit.

La détérioration est reliée à un concours de facteurs traumatisants pour le tissu du fruit. Il est progressivement aggravé par la prolongation de l'entreposage, par l'abaissement de la température dans la gamme de 4 à 2,5 °C et par la réduction du taux d'oxygène, de 3,0 à 1,0 %, même si, dans la fourchette de 1 à 3 %, la concentration de dioxyde de carbone durant l'entreposage n'a pas d'effet systématique (Johnson, 1986). Par bonheur, la nécessité d'entreposer les Cox à une température relativement élevée (de 3,5 à 4,0 °C) afin d'éviter le blettissement à basse température aide à réduire au minimum l'apparition du liège d'entreposage long.

Afin de conserver les Cox's Orange Pippin cultivées au Royaume-Uni pendant 8 mois, aucun compromis n'est possible à l'égard des conditions d'entreposage (1,0 % de dioxyde de carbone plus 1,0 à 1,25 % d'oxygène à 3,5 à 4,0 °C), mais, comme la vulnérabilité varie

considérablement d'un verger à l'autre et d'une saison à l'autre, on insiste, à titre préventif, sur les facteurs précédant la récolte. Ainsi, l'écart entre le taux de potassium et de calcium dans le fruit, au moment de la récolte, s'est révélé de première importance. Par conséquent, les lots de fruits dont la teneur en calcium est inférieure à 5,0 mg/100 g de poids frais et dont la teneur en potassium est supérieure à 150 mg/100 g de poids frais devraient sortir de l'entreposage sous atmosphère contrôlée après mars (Sharples et Stow, 1986). Une cueillette tardive peut également constituer un facteur aggravant (North et al., 1977).

Sur les plans de la morphologie et de la physiologie, le liège d'entreposage long de la Cox's Orange Pippin ressemble considérablement à la brunissure liégeuse de la chair de la McIntosh (fig. 11). Toutefois, cette dernière affection survient à basse température et est aggravée par l'abaissement du taux d'oxygène, la prolongation de la durée d'entreposage et la maturité avancée du fruit à la récolte. Même si la température d'entreposage influe sur le liège d'entreposage long de la Cox's Orange Pippin, les autres facteurs sont trop nombreux pour qu'on puisse en dégager un qui soit plus important que les autres.

Brunissement pâteux et diffus de la chair

Cette détérioration se manifeste d'abord par un léger brunissement de la chair corticale, en réaction à des atmosphères de 1,5 % d'oxygène ou moins. Si le fruit reste dans cette atmosphère peu oxygénée, le brunissement diffus évolue en taches nettes, brun foncé, imbibées d'eau (fig. 14). Comme le tissu touché est imbibé d'eau et en état d'anoxie, on décèle d'habitude une odeur de fermenté.

Cette détérioration échappe habituellement à l'examen externe, ce qui rend presque impossible la séparation des fruits touchés des fruits sains. Même si le brunissement se manifeste à un faible taux, il enlève toute qualité marchande au lot, de sorte qu'il faut veiller particulièrement à l'examen interne des fruits pour le déceler. Si sa présence est observée, ramener immédiatement tout le local à l'atmosphère ordinaire et en retirer les lots touchés avant de procéder à l'emballage.

Goût atypique

La perte du goût propre au cultivar est souvent le premier signe d'une détérioration attribuable au faible taux d'oxygène. La dégustation périodique de pommes conservées sous atmosphères peu oxygénées pourrait donc être le seul moyen dont on dispose pour déterminer le moment où il faut ramener le gaz au taux sans danger de plus de 2,0 %. Si la perte du goût typique est le seul symptôme décelable de la détérioration, l'élévation du taux d'oxygène restaure normalement ce goût, et les autres symptômes de la détérioration

n'apparaissent pas. Si, cependant, les pommes ne sont pas exposées à un taux supérieur d'oxygène, la perte du goût typique du cultivar est suivie de l'apparition d'un goût altéré décelable, un goût d'alcool prononcé et atypique. Si le fruit reste exposé à un faible taux d'oxygène, il prend un goût altéré, incontestablement robuste.

La détérioration progressive du goût est normalement associée à un accroissement de même intensité de la détérioration de la peau, de la chair, à l'accumulation d'acétaldéhyde, d'éthanol et d'acétate d'éthyle dans la chair, phénomènes tous attribuables aux faibles taux d'oxygène. Toutefois, les trois symptômes et les indicateurs de la détérioration causée par les faibles taux d'oxygène semblent indépendants les uns des autres. Bien que tous les autres symptômes et indicateurs d'une détérioration aux faibles taux d'oxygène soient exacerbés par l'accroissement de la température durant l'exposition à une atmosphère azotée, la décoloration des Cortland ne semble pas subir l'influence de la température. Chez la variété Mutsu (Crispin), la détérioration du goût subit l'influence profonde de la température, mais on n'observe aucun symptôme visible de détérioration causée par un faible taux d'oxygène.

Les pommes dont le goût est détérioré reprennent leur goût typique si la détérioration n'est pas trop grave et s'il y a des symptômes visuels d'endommagement causés par de faibles taux d'oxygène. On devrait alors les conserver à l'air, à la température de 0 °C, pour retarder l'amollissement de la chair pendant l'évaporation du facteur d'altération du goût. Les pommes gravement touchées peuvent subir une perte de qualité, même après le retour du goût normal.

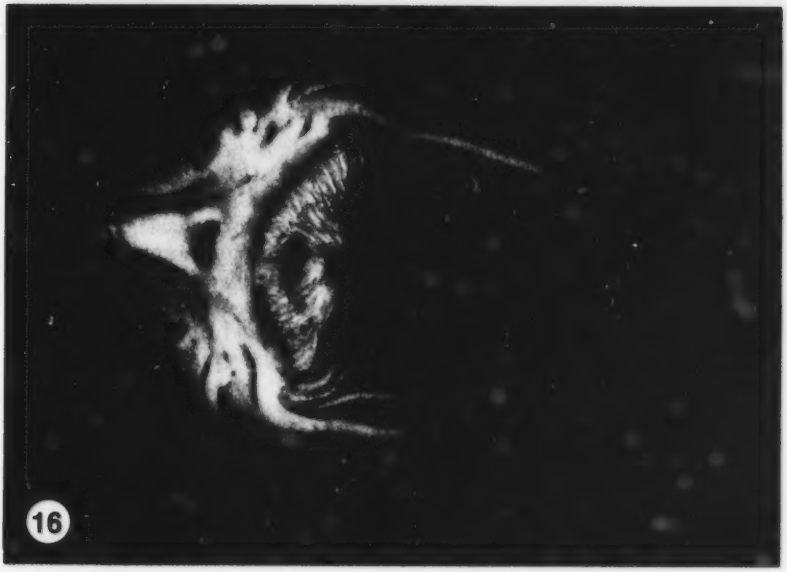
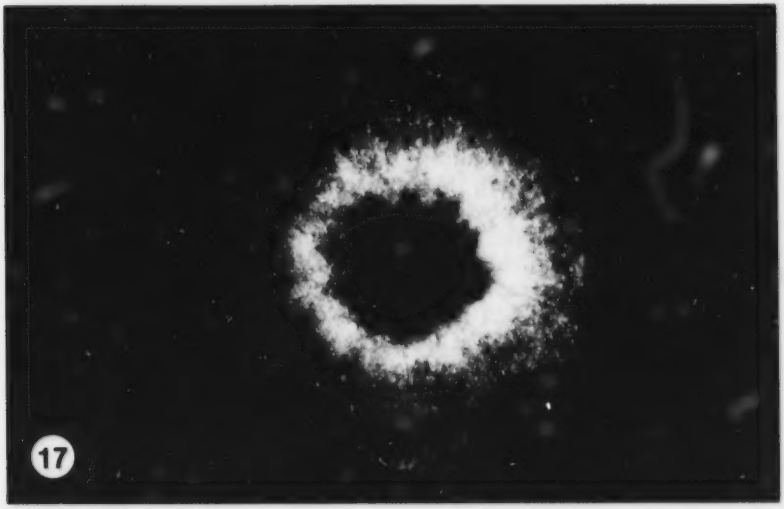


Fig. 15 Coupe d'un gros artichaut Green Globe mûr entreposé à 0 °C, à l'air, pendant 4 semaines.

Fig. 16 Noircissement de la surface du réceptacle et décoloration des tissus du réceptacle d'un artichaut Green Globe entreposé sous atmosphère de 1 % d'oxygène plus 5 % de dioxyde de carbone pendant 4 semaines.



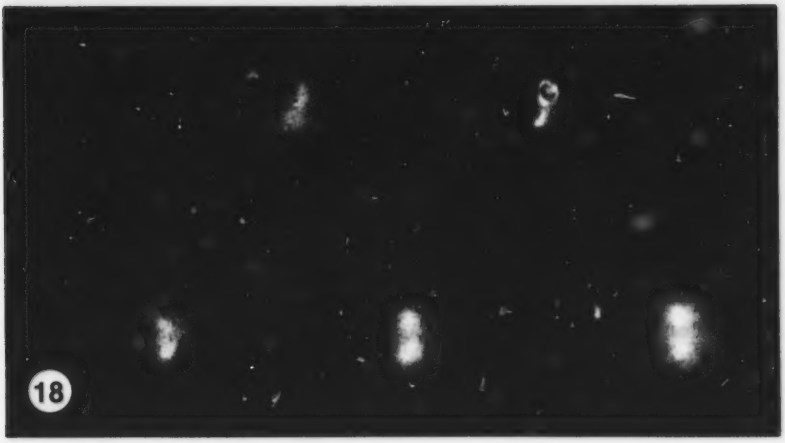


Fig. 17 Détérioration attribuable à des taux élevés de dioxyde de carbone chez la poire 20th Century entreposée sous atmosphère de 5 % de dioxyde de carbone plus air à 0 °C pendant 6 mois.

Fig. 18 Détérioration attribuable à de faibles taux d'oxygène chez des poires 20th Century entreposées sous atmosphère de 1 % d'oxygène à 0 °C pendant 4 mois.

ARTICHAUTS

M.E. Saltveit

NOIRCISSEMENT DE LA BRACTÉE ET DU RÉCEPTACLE

Les atmosphères contrôlées qui conviennent à l'artichaut vont d'un taux de 6 % de dioxyde de carbone plus 2 % d'oxygène à 0 % de dioxyde de carbone plus 0,25 % d'oxygène (Escriche et al., 1982; Isenberg, 1979; Ryall et Lipton, 1979; Ryder et al., 1983). Une atmosphère contrôlée recommandée de 3 % de dioxyde de carbone plus 3 % d'oxygène à 1,5 °C et à humidité relative de 95 % permet un entreposage d'un mois (Ryall et Lipton, 1979). Cependant, certains spécialistes signalent que l'entreposage sous atmosphère contrôlée ne procure aucun avantage par rapport à l'entreposage traditionnel à l'air (Ryall et Lipton, 1979; Miccolis et Salveit, 1988). Le régime optimal, sous atmosphère contrôlée, dépend du cultivar et de la qualité initiale de la tête (Escriche et al., 1982; Ryder et al., 1983). Les atmosphères contrôlées réduisent la dessiccation excessive et la croissance de moisissures souvent observées au cours de l'entreposage prolongé à l'air. Elles réduisent également le brunissement de la surface corticale interne des bractées, avantage qui n'est pas constamment observé (Artés et al., 1981). Les atmosphères de 3 à 5 % de dioxyde de carbone peuvent stimuler la croissance d'épines sur le réceptacle, tandis que l'absence de ce gaz peut accentuer la perte de poids ainsi que la coloration violette interne.

Le noircissement des bractées et du réceptacle que l'on observe dans les atmosphères à faible taux d'oxygène et à taux élevé de dioxyde de carbone diffère du brunissement des bractées causé par le vieillissement ou la maladie. Miccolis et Saltveit (1988) ont découvert que les grosses têtes mûres conservées à l'air noircissent peu (fig. 15). Les têtes entreposées sous atmosphère contrôlée ne souffrent pas seulement du noircissement des bractées et de la surface du réceptacle, mais aussi d'une décoloration du tissu à l'intérieur du réceptacle (fig. 16). Le degré de noircissement des bractées est très faible dans l'air après 4 semaines d'entreposage, mais il s'aggrave sous atmosphère de dioxyde de carbone quand le taux de ce gaz passe de 2,5 à 5 % et que le taux d'oxygène passe de 5 à 1 %. Le noircissement de la surface du réceptacle est également observé à un taux de 5 % de dioxyde de carbone. S'il n'y a pas de dioxyde de carbone ajouté, le taux d'oxygène exerce peu d'effet sur le noircissement. Les symptômes sont plus graves chez les têtes plus mûres.

Le noircissement des bractées pourrait être attribuable à un faible taux d'oxygène, à un taux élevé de dioxyde de carbone ou au refroidissement aggravé par les atmosphères contrôlées. La cause de cette décoloration n'a pas été clairement déterminée.

POIRES ASIATIQUES

A.A. Kader

BRUNISSEMENT DU COEUR OU DE LA CHAIR MÉDIANE

Ce brunissement se manifeste d'abord sur la paroi interne du carpelle et dans le tissu du coeur, en réaction aux taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (fig. 17). L'exposition ininterrompue aux taux nocifs de dioxyde de carbone propage le brunissement jusque dans les tissus corticaux, et il peut se former des cavernes causées par la dessiccation du tissu nécrosé.

Tous les cultivars éprouvés de poires asiatiques sont vulnérables à ce brunissement lorsqu'ils sont exposés à des taux de dioxyde de carbone supérieurs à 1 % pendant 4 mois ou à des taux de 5 % pendant plus d'un mois à 0 °C. On peut complètement prévenir la détérioration en n'exposant pas ces poires à des concentrations de plus de 1 % de dioxyde de carbone, taux qui peut résulter de l'emballage du fruit ou de son paraffinage excessif, du chemisage des récipients d'expédition au polyéthylène ou de la suppression insuffisante du dioxyde de carbone des installations d'entreposage sous atmosphère contrôlée.

BRONZAGE ÉPIDERMIQUE

Le bronzage épidermique, qui se manifeste sous la forme de dépressions (lésions rugueuses ou déprimées) superficielles et décolorées sur les poires 20th Century (fig. 18), peut provenir de l'exposition à une atmosphère de 1 % d'oxygène (détérioration causée par un faible taux d'oxygène) pendant au moins 4 mois à 0 °C. L'exposition des poires Ya Li à 1 % d'oxygène pendant 2 mois ou des poires Tsu Li à 2 % d'oxygène pendant 4 mois ou à 3 % d'oxygène pendant 6 mois à 0 °C peut provoquer le brunissement de la chair (fig. 19). Ces détériorations causées par de faibles taux d'oxygène peuvent être évitées si l'on n'entrepose pas les poires asiatiques en les soumettant à des combinaisons de durée d'entreposage et de concentrations d'oxygène qui excèdent la tolérance de chaque cultivar.

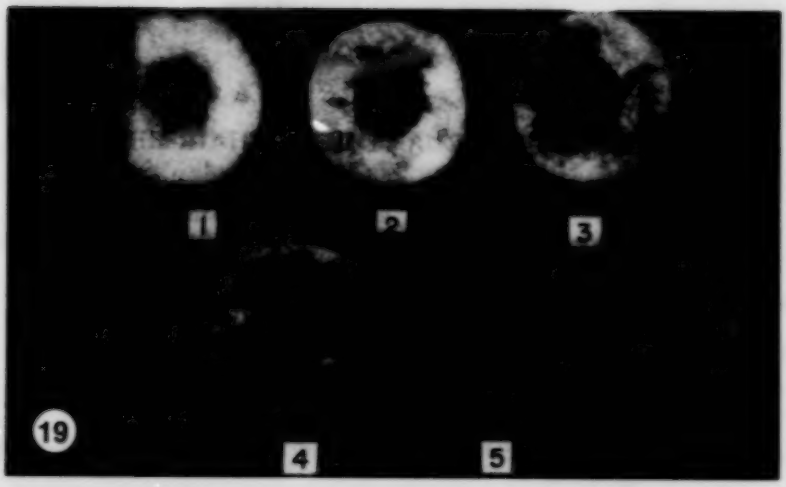


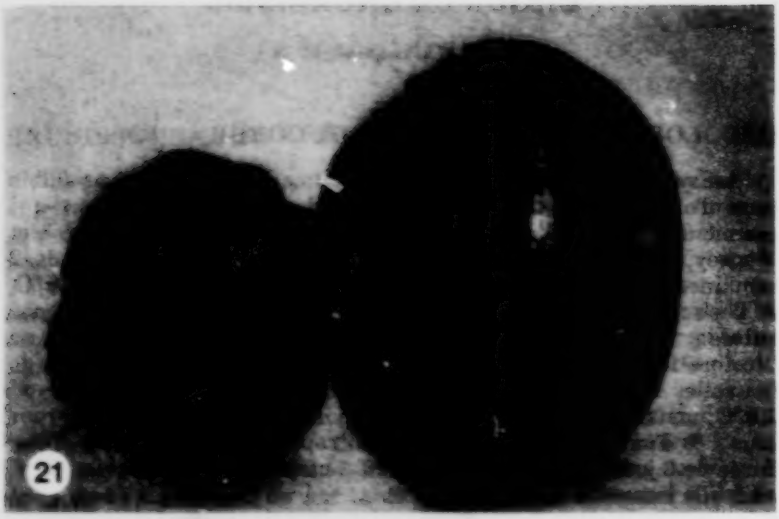
Fig. 19 Système de pointage de la détérioration causée par de faibles taux d'oxygène chez les poires Ya Li (coupe).

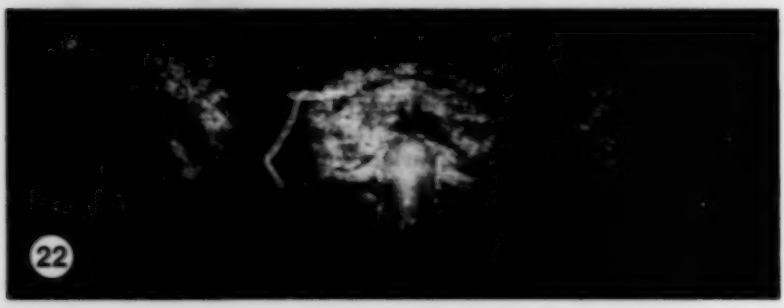
Fig. 20 Détérioration causée par un faible taux d'oxygène chez des choux de Bruxelles entreposés dans 0,25 % d'oxygène plus air à 5 °C, puis 3 jours à l'air à 10 °C.

Fig. 21 Détérioration causée par des taux élevés de dioxyde de carbone chez des choux de Bruxelles entreposés dans 10 % de dioxyde de carbone plus air à 2,5 °C pendant 4 semaines, puis 2 jours à l'air, à 10 °C. ▶

Fig. 22 Brunissement du méristème de choux Polinius entreposés sous atmosphères peu oxygénées. ▶

Fig. 23 Brunissement général des feuilles de choux Polinius entreposés sous atmosphères à taux élevés de dioxyde de carbone. ▶


21


22

23

CHOUX DE BRUXELLES

W.J. Lipton

DÉCOLORATION DES FEUILLES DU COEUR

Le symptôme visible typique des dommages causés par un faible taux d'oxygène est une détérioration des feuilles du coeur qui prennent une teinte brun jaunâtre nuancé de rouge (fig. 20; Lipton et Mackey, 1987). Le symptôme apparaît durant une période de 2 semaines d'entreposage sous atmosphère de 0,5 % d'oxygène à 2,5 °C, et il s'accompagne souvent d'une amertume extrême des pommes cuites. Toutefois, l'amertume peut aussi se manifester sans décoloration. Ces détériorations sont plus graves lorsque les choux de Bruxelles sont gardés sous atmosphère de 1 % d'oxygène à 7,5 ou 2,5 °C, mais ils ne se manifestent pas lorsque les choux sont gardés sous 1 % d'oxygène à 0 °C. Après l'entreposage, une aération d'une durée de 3 jours à 10 °C n'a aucun effet constant sur la décoloration, mais elle intensifie l'amertume.

DÉCOLORATION DU TISSU VASCULAIRE (TIGE)

Lorsque le tissu adjacent au cerne vasculaire de l'extrémité de la tige prend une couleur brun jaunâtre, nous avons affaire à un symptôme causé par un taux excessif de dioxyde de carbone (fig. 21). L'entreposage des choux de la variété Valiant pendant 4 semaines à 10 % de dioxyde de carbone à 2,5 °C aboutit à des dommages importants causés par ce gaz (Lipton et Mackey, 1987). L'incidence ou l'intensité de la décoloration ne subissent pas l'influence du taux d'oxygène dans la fourchette de 1 à 20 %. L'aération ultérieure à 10 °C n'influe pas sur l'évolution des symptômes, et les choux touchés possèdent un arôme normal.

CHOUX

J.F. Masters et J.R. Hicks

BRUNISSEMENT DU MÉRISTÈME

Le jeune méristème, à l'apex de la tige, est des plus vulnérables aux faibles taux d'oxygène. Ce tissu, qui respire beaucoup, brunit et se dessèche en réaction aux atmosphères peu oxygénées (fig. 22). Les premiers signes de cette détérioration peuvent être constatés après 2 mois d'entreposage à 0,5 % d'oxygène (plus 0 ou 5 % de dioxyde de carbone) et ils s'intensifient en couleur et en étendue avec la prolongation de l'entreposage. Le chou présente des symptômes semblables d'endommagement lorsqu'il est exposé à de faibles taux d'oxygène (1,5 % pendant 6 mois ou plus à 0 °C).

La vulnérabilité des cultivars aux faibles taux d'oxygène, durant l'entreposage, est variable. Comme le méristème du centre de la pomme est des plus vulnérables aux faibles taux d'oxygène, la densité de la pomme peut influer sur la diffusion des gaz jusqu'au point de croissance de même que sur la vulnérabilité du chou aux détériorations. Le degré de maturité des pommes au moment de la récolte peut également influer sur la densité et sur la vulnérabilité aux faibles taux d'oxygène. Pour plus de renseignements, voir Isenberg et Sayles, 1969; Geeson et Browne, 1980; Hicks et Ludford, 1981.

BRUNISSEMENT GÉNÉRAL DES FEUILLES

Cette détérioration causée par le dioxyde de carbone se manifeste d'abord par le brunissement des tissus autour de l'apex (tissu méristématique), avec dégagement d'une odeur atypique observable (fig. 23). Ce premier symptôme peut apparaître dès le deuxième mois d'entreposage, sous atmosphère de 20 % de dioxyde de carbone à 0 °C, quel que soit le taux d'oxygène. L'endommagement gagne toute la pomme si cette dernière est laissée à des taux élevés de dioxyde de carbone, pour enfin se manifester extérieurement, par le bronzage des feuilles extérieures. Les taux de plus de 10 % de dioxyde de carbone peuvent, à des durées d'entreposage d'au moins 6 mois, provoquer une perte importante du produit en raison des dommages subis. L'étendue de ces derniers dépend du cultivar et du degré de maturité.

Fig. 24 Détérioration attribuable au faible taux d'oxygène chez des choux-fleurs entreposés dans 2, 0,5 ou 0,25 % d'oxygène pendant 8 jours à 5 °C (de gauche à droite), puis 3 jours, à l'air, à 10 °C.

Fig. 25 Détérioration attribuable au taux élevé de dioxyde de carbone, chez le choux-fleur, qui ne se manifeste qu'après la cuisson. Moitiés de la même tête conservées respectivement dans 15 % de dioxyde de carbone plus 5 % d'oxygène pendant 7 jours à 5 °C (à gauche) ou dans l'air (à droite).

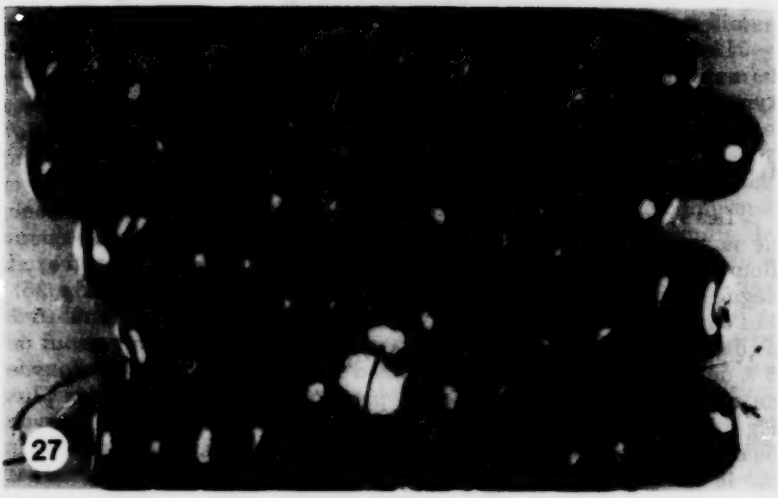


Fig. 26 Détérioration de la cerise douce, attribuable aux faibles taux d'oxygène et mis en évidence par le brunissement progressif du pédoncule, la déshydratation de ce dernier ainsi que le noircissement du fruit après 4 jours sous l'azote à 22 °C.

Fig. 27 Détérioration de la cerise douce, attribuable à un faible taux d'oxygène et mis en évidence par la dégradation du pédoncule et le noircissement du fruit ainsi que la présence remarquable de mycélium après 9 jours sous l'azote à 22 °C.

CHOUX-FLEURS

W.J. Lipton

DÉCOLORATION DES INFLORESCENCES

Les choux-fleurs endommagés par les atmosphères peu oxygénées ont des inflorescences déprimées, brun jaunâtre pâle, à l'aspect desséché, même si celles-ci ne sont pas sèches (fig. 24; Lipton et Harris, 1976). Une pourriture molle peut également sévir sur les inflorescences endommagées. Les symptômes attribuables aux faibles taux d'oxygène se manifestent en 8 jours d'entreposage à 0,25 ou 0,5 % d'oxygène à 5 °C suivis de 3 jours d'aération à 10 °C. Lorsque l'endommagement est peu prononcé, les symptômes ne deviennent parfois évidents qu'après la cuisson. L'endommagement devient également visible à 1 % d'oxygène, mais on peut à peine le voir sur les choux-fleurs entreposés dans 2 % d'oxygène. De même on peut déceler une odeur légèrement aigre chez les choux-fleurs crus entreposés dans 1 % ou moins d'oxygène, mais non chez ceux qui le sont dans 2 %. La cuisson de choux-fleurs entreposés dans 1 % ou moins d'oxygène dégage une odeur et un arôme très repoussants. Le phénomène se manifeste parfois avec les choux-fleurs entreposés dans 2 % d'oxygène.

L'aération dissipe l'arôme aigre des choux-fleurs crus et intensifie le mauvais goût des choux-fleurs cuits, mais elle n'aggrave pas les symptômes visibles.

DÉCOLORATION DES INFLORESCENCES CUITES

Les symptômes attribuables aux taux élevés de dioxyde de carbone ne se manifestent qu'après la cuisson (Lipton et al., 1967). Le chou-fleur présente alors une apparence spongieuse, gris jaunâtre, et dégage une forte odeur atypique et possède un goût prononcé (fig. 25). Les dommages sont visibles après deux jours d'entreposage dans 15 % de dioxyde de carbone plus 5 % d'oxygène à 5 °C. Les combinaisons de 5 % de dioxyde de carbone plus 15 % d'oxygène ou de 10 % de dioxyde de carbone plus 10 % d'oxygène provoquent des symptômes plus légers. Le taux de 5 % d'oxygène ou des taux plus élevés sans dioxyde de carbone n'ont aucun effet négatif. Les premiers symptômes causés par le dioxyde de carbone disparaissent après aération à 5 °C pendant au moins 6 heures. Pour l'emballage des choux-fleurs, on ne devrait utiliser que de la pellicule perforée pour empêcher l'accumulation de dioxyde de carbone et les dommages qui peuvent s'en suivre durant la distribution et la vente au détail.

CERISES DOUCES

M.E. Patterson

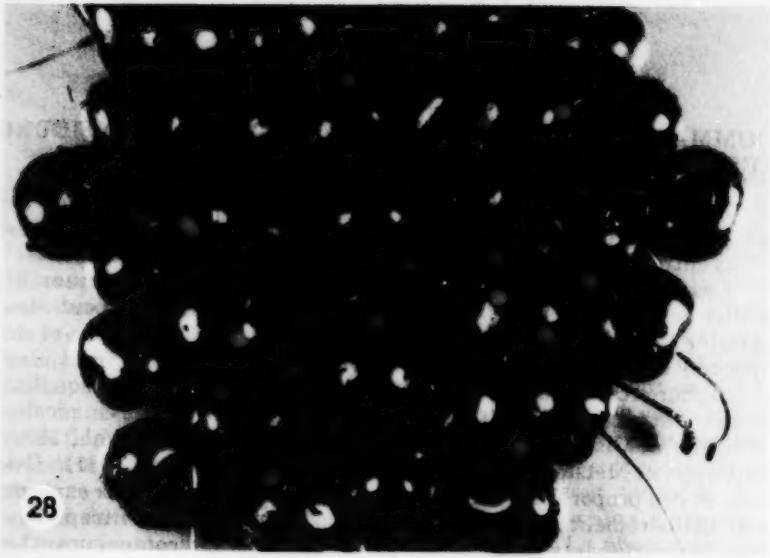
DOMMAGES CAUSÉS PAR LE DIOXYDE DE CARBONE ET LES FAIBLES TAUX D'OXYGÈNE

Avec l'accroissement de la production et des exportations de cerises douces (*Prunus avium* L.) en Amérique du Nord, le tonnage de fruits entreposés sous atmosphères modifiées a également augmenté.

Les atmosphères modifiées et contrôlées sont obtenues et maîtrisées avec un degré d'exactitude et de précision qui peut être variable. À l'intérieur d'une gamme sûre de taux d'oxygène et de dioxyde de carbone dans l'atmosphère entourant le fruit, les atmosphères contrôlées et modifiées conservent à ce dernier sa qualité et son état et prolongent sa durée de conservation après récolte (Schomer et Olsen, 1964; Porritt et Mason, 1965; Singh et al., 1970; Patterson et Melstad, 1977; Patterson, 1982; Chen et al., 1981). Des taux et des proportions variables d'oxygène et de dioxyde de carbone sont délibérément et accidentellement établis durant l'entreposage dans les contenants d'expédition ainsi que dans les conteneurs. La plupart des cerises ne sont pas entreposées pour des périodes prolongées aux points d'expédition, mais elles peuvent être conservées sous réfrigération pendant de courts intervalles de temps entre la récolte et l'emballage, puis entre l'emballage et l'expédition. De petits volumes sont mis en entreposage sous atmosphère contrôlée pour prolonger la durée de commercialisation. Presque tous les fruits sont emballés dans des boîtes de carton-fibre doublées d'une pellicule de plastique de 38 µm, imperméable à la diffusion des gaz. De nombreux chargements sont mis dans des conteneurs étanches et emplis de dioxyde de carbone.

La température des fruits au cours du transport peut varier considérablement. L'intensité de la respiration, le volume des fruits, les fuites vers l'atmosphère, l'atmosphère de départ ou l'atmosphère visée, la perméabilité des emballages et les surfaces de perméabilité différentes sont autant de variables qui influent sur la composition gazeuse des atmosphères entourant les fruits. La température et le temps amplifient l'influence de plusieurs variables. Les écarts et les fluctuations prononcés dans le taux d'oxygène et de dioxyde de carbone entourant les fruits sont probablement causés par des facteurs variables qui interagissent entre le moment où le fruit est récolté et le moment où il est consommé.

Les cerises douces tolèrent une large gamme de concentrations de dioxyde de carbone et d'oxygène (Porritt et Mason, 1965; Kader et Morris, 1977; Patterson et Melstad, 1977), mais les fortes concentrations de dioxyde de carbone et les faibles concentrations d'oxygène peuvent être néfastes. On a suggéré des concentrations



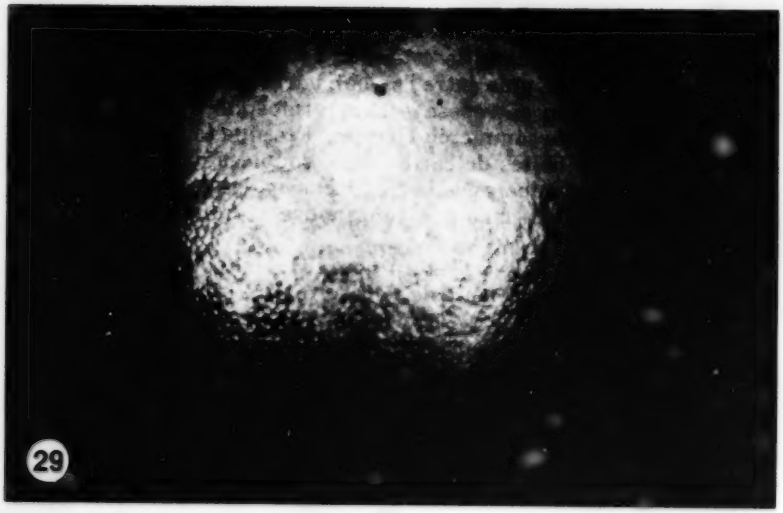
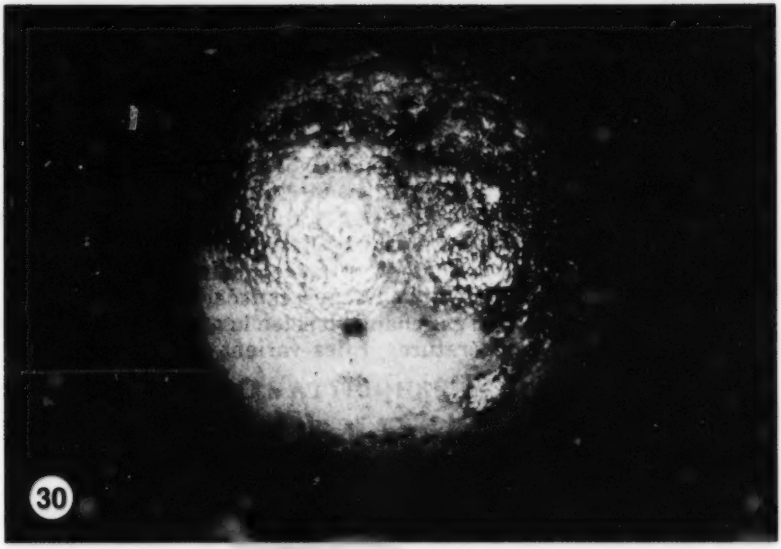


Fig. 28 Détérioration de la cerise douce, attribuable à un taux élevé de dioxyde de carbone et mis en évidence par le brunissement du pédoncule, le noircissement du fruit, une exsudation collante à la surface de ce dernier, l'engorgement de la chair, le brunissement et des creusements de la surface.

Fig. 29 Symptômes semblables à ceux de l'échaudure, sur la pelure d'une orange Valencia entreposée dans 0 % d'oxygène pendant 12 semaines à 0 °C.



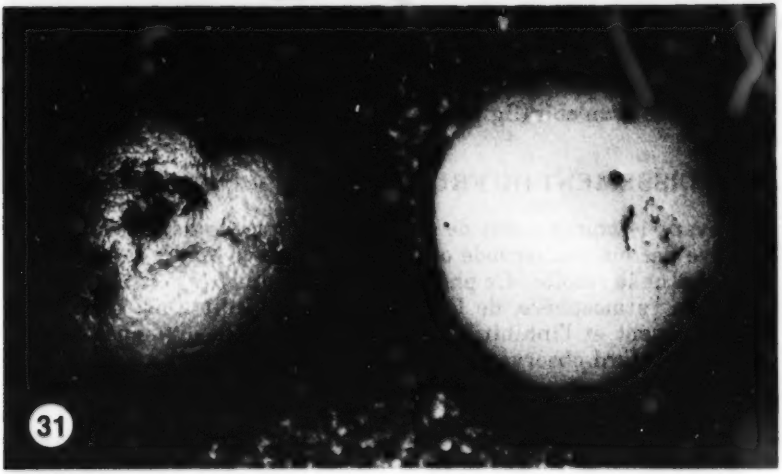


Fig. 30 Échaudure et blettissement autour du pédoncule d'une orange Valencia entreposée pendant 12 semaines à 1 °C dans 5 % d'oxygène plus 2,5 % de dioxyde de carbone.

Fig. 31 Détérioration de la pelure semblable à l'échaudure sur un pamplemousse Marsh entreposé pendant 8 semaines à 5 °C à 25 % de dioxyde de carbone dans l'air.

maximales de 3 % d'oxygène et 10 % de dioxyde de carbone aux températures recommandées d'entreposage, dans chaque cas où l'autre gaz est près de sa concentration dans l'air (Kader et Morris, 1977). Lorsque les cerises Bing sont entreposées à l'air ou dans un mélange de 0, de 20, de 40, de 60, de 80 et de 100 % de dioxyde de carbone à 0 °C, elles produisent des arômes atypiques en proportion de la durée d'entreposage et du taux de dioxyde de carbone. Ces arômes apparaissent en moins d'une semaine à 80 % de dioxyde de carbone ou plus et un peu plus tard à 60 % de ce gaz; aucun arôme ne se forme à 40 % de dioxyde de carbone ou moins (Patterson et Melstad, 1977). L'élévation de la température et la prolongation de l'exposition accroissent la probabilité des dommages causés par le dioxyde de carbone. Les tolérances au gaz changent selon la nature de l'autre gaz et les variations de température. Elles varient également dans le temps.

DÉCOLORATION DU PÉDONCULE

Le brunissement du pédoncule précède l'apparition des symptômes dans la pulpe. En effet, les pédoncules sont plus vulnérables aux extrêmes atmosphériques, et leur brunissement survient plus tôt s'ils sont exposés à des concentrations toxiques de dioxyde de carbone que s'ils sont soumis à des atmosphères peu oxygénées. Les pédoncules commencent d'abord par prendre une couleur brun rouge, tandis que les pédoncules privés d'oxygène tendent à prendre une couleur qui tend vers le brun noir (fig. 26).

NOIRCISSEMENT DU FRUIT

Avant le changement de coloration, signe de détérioration, on observe parfois une période où le fruit conserve mieux sa couleur et son éclat de la récolte. Ce phénomène s'explique par la suppression, à cause de l'atmosphère, de la sénescence du fruit ainsi que par le noircissement et l'inhibition de la synthèse des pigments rouges. Après ce retard observé dans les atmosphères riches en dioxyde de carbone et pauvres en oxygène, on observe le noircissement accéléré du fruit, qui peut être en partie causé par la rupture des membranes cellulaires et aux pertes qui s'ensuivent. En outre, le jus extrait des cultivars à fruits rouges devient progressivement plus pourpre et moins rouge avec l'augmentation de la toxicité causée par les atmosphères riches en dioxyde de carbone ou pauvres en oxygène ou les deux (fig. 27 et 28).

EXSUDATION ET BRUNISSEMENT DU FRUIT EN SURFACE

La toxicité causée par les fortes concentrations de dioxyde de carbone amène l'exsudation de gouttelettes à la surface de la peau avant que cette dernière ne commence à brunir. Finalement, des

zones brunes apparaissent à la surface du fruit, et les dommages peuvent s'exprimer par un mélange de brun et de rouge ou d'acajou et un aspect détrempé terne (fig. 28).

Dans des expériences d'entreposage d'un cultivar de couleur claire, le Rainier, les concentrations élevées de dioxyde de carbone amènent la formation rapide de nombreuses taches brunes à la surface de l'épiderme, dès la sortie des fruits à l'air. Le cultivar Rainier est plus vulnérable aux fortes concentrations de dioxyde de carbone que les cultivars Bing ou Lambert.

L'absence de pourriture sur les fruits entreposés en atmosphères enrichies en dioxyde de carbone est commune. La maîtrise de la pourriture est proportionnelle aux taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère entourant les fruits.

ODEURS ET ARÔMES ATYPIQUES

Les premières indications des dommages attribuables aux faibles teneurs en oxygène ou au dioxyde de carbone ne sont pas apparentes. Des odeurs et des arômes de suri et de fermenté précèdent l'apparition des symptômes apparents. L'apparition d'un arôme semblable à celui de l'huile d'amande synthétique caractérise les dommages causés par le dioxyde de carbone ou les faibles teneurs en oxygène. Des essais de dégustation effectués immédiatement après la sortie des fruits des atmosphères très riches en dioxyde de carbone révèlent que le jus des fruits peut être perceptiblement carbonaté. Ce phénomène ainsi que l'apparition d'odeurs atypiques peuvent être atténués grâce à l'aération à 0 °C, à température ambiante.

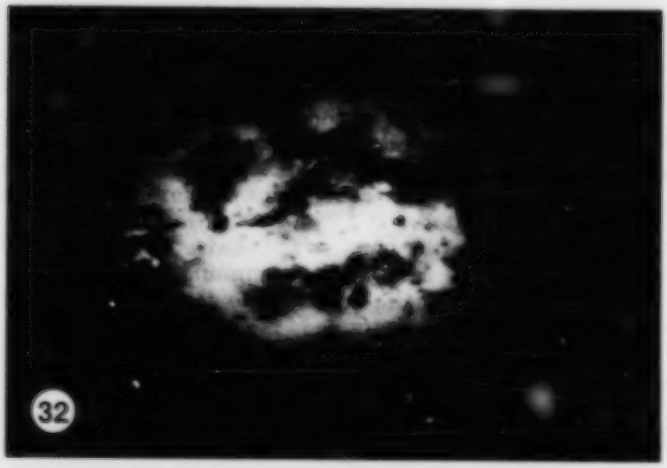


Fig. 32 Détérioration grave, attribuable au faible taux d'oxygène, sur un melon Honeydew entreposé 3 semaines dans 1,5 % d'oxygène, à 7,5 °C, puis 2 jours à 20 °C dans l'air.

Fig. 33 Détérioration grave, attribuable au taux élevé de dioxyde de carbone, sur un melon Honeydew entreposé 3 semaines dans 20 % d'oxygène plus 10 % de dioxyde de carbone à 7,5 °C, puis deux jours à 20 °C dans l'air.

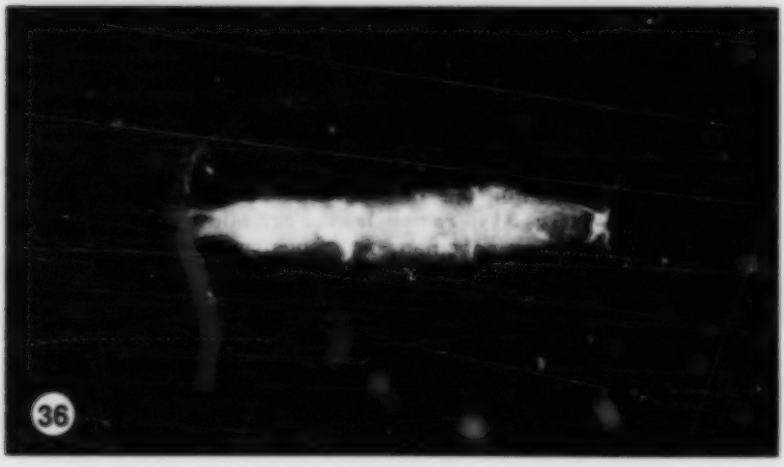
Fig. 34 Translucidité du péricarpe du kiwi, attribuable à une exposition à un faible taux d'oxygène, à un taux élevé de dioxyde de carbone ou à de fortes teneurs en éthylène à 0 °C. ▶

Fig. 35 Granulation du péricarpe du kiwi, attribuable à une exposition à des taux élevés de dioxyde de carbone dans l'air à 0 °C. ▶

Fig. 36 Inclusion blanche dans le cœur du kiwi, attribuable à une exposition à l'éthylène durant l'entreposage sous atmosphère contrôlée à 0 °C. ▶

34

35


36

AGRUMES

A.C. Purvis

Les agrumes sont des fruits qui ne traversent pas de crise climatérique et qui ne profitent généralement pas beaucoup de l'entreposage sous atmosphère contrôlée. Par ailleurs, ils sont susceptibles de souffrir du froid, dont le seuil dépend de l'espèce. On peut entreposer les oranges (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) sans danger, à plus de 5 à 7 °C, tandis que le pamplemousse (*Citrus paradisi* Macf.) exige d'être gardé à au moins 13 °C pour ne pas subir d'accident.

Bien que les agrumes ne soient pas normalement conservés sous atmosphère contrôlée, les fruits emballés dans des boîtes de carton-fibre placées dans des locaux mal ventilés peuvent être exposés à de faibles concentrations d'oxygène et à de fortes concentrations de dioxyde de carbone pendant des périodes de temps variables, notamment s'il y a des fruits en putréfaction. Pour plus de renseignements, voir Barmore et al., 1983; Davis et al., 1973; Eaks et Ludi, 1960; Hatton et Cubbedge, 1977; Vakis et al., 1973; Wardowski et al., 1975.

ÉCHAUDURE DE L'ÉPIDERME ET ODEURS ATYPIQUES

L'abaissement des taux d'oxygène sous 5 à 10 % mène à l'apparition d'odeurs atypiques provoquées par l'accroissement de la teneur en éthanol et en acétaldéhyde dans le jus. Sur la pelure des oranges entreposées dans 0 % d'oxygène pendant 12 semaines à 0 °C, on observe des symptômes qui ressemblent à l'échaudure (fig. 29).

ÉCHAUDURE DE L'ÉPIDERME

Les concentrations élevées de dioxyde de carbone (au-dessus de 5 %) préalablement à l'entreposage des pamplemousses à de basses températures réduiraient les piqûres et autres symptômes du refroidissement. L'accroissement du taux de dioxyde de carbone retarde aussi la sénescence de l'épiderme du pamplemousse, celui-ci restant jaune vif lorsque le fruit est entreposé à 10 °C. Toutefois, les fortes concentrations de dioxyde de carbone peuvent provoquer l'apparition de zones qui, sur la pelure de l'orange (fig. 30) et du pamplemousse (fig. 31), rappellent l'échaudure aux basses températures. L'endommagement est souvent moins intense autour du pôle pédonculaire des oranges.

Pour les agrumes, les avantages des atmosphères enrichies en dioxyde de carbone sont peu importants. Par conséquent, on conserve normalement ces fruits à des températures qui ne sont pas basses, dans des locaux bien ventilés afin d'empêcher l'apparition d'arômes atypiques ainsi que les symptômes des dommages causés par le refroidissement.

MELON HONEYDEW

W.J. Lipton

ÉPIDERME ENGORGÉ ET FISSURÉ

Les dommages causés par une faible teneur en oxygène se manifestent par des plaques engorgées d'eau et par la fissuration des tissus touchés chez les melons entreposés 3 semaines dans 1,5 % d'oxygène à 7,5 °C (fig. 32). Les tissus engorgés sont les seuls symptômes provoqués par l'entreposage dans 3 % d'oxygène, tandis que dans 6 % d'oxygène et sans dioxyde de carbone à 7,5 °C, on n'observe aucun symptôme. Durant l'aération ultérieure à 20 °C, les dommages causés par la faible concentration d'oxygène, la croissance de moisissures en surface ainsi que la décomposition de la chair s'aggravent.

L'engorgement causé par le taux élevé de dioxyde de carbone ne se distingue pas de celui que provoque le faible taux d'oxygène (fig. 33). L'endommagement causé par le dioxyde de carbone est provoqué par un entreposage de 3 semaines dans 10 % de dioxyde de carbone plus 20 % d'oxygène à 7,5 °C, mais il y a peu ou pas de dommages dans 5 % de dioxyde de carbone plus 2,5 % d'oxygène. Un taux de 10 % de dioxyde de carbone à 2,5 °C peut aussi provoquer le brunissement du fruit en surface, en interaction peut-être avec le refroidissement. La fissuration et la pourriture se manifestent progressivement durant l'aération après entreposage à 20 °C.

KIWI

M.L. Arpaia

L'entreposage en atmosphère contrôlée du kiwi (*Actinidia deliciosa*, Liang et Ferguson) s'est révélé avantageux pour la prolongation de la durée d'entreposage des cultivars Hayward et Bruno. Le ramollissement de la chair du fruit est ainsi retardé. Pour donner de bons résultats, l'entreposage sous atmosphère contrôlée dépend du maintien du dioxyde de carbone à des taux se situant entre 3 et 8 %, celui de l'oxygène, à environ 2 %, et la suppression complète de l'éthylène (C_2H_4) de l'atmosphère d'entreposage. La variabilité saisonnière joue aussi sur les résultats. Quatre troubles physiologiques ont été liés à l'entreposage sous atmosphère contrôlée du kiwi Hayward. Ils correspondent principalement aux concentrations nuisibles de dioxyde de carbone et à la présence d'éthylène dans l'atmosphère d'entreposage. Pour plus de renseignements, voir Arpaia et al., 1985 et 1986; Ben-Arie et Sonego, 1985; Harman et McDonald, 1983; Mitchell et al., 1982; McDonald et Harman, 1982.

DURCISSEMENT DU COEUR

On a étudié et décrit ce genre de dommage chez le fruit néo-zélandais. Le coeur n'arrive pas à mûrir même si le reste du fruit est mou et mûr. Le phénomène se manifeste chez les fruits entreposés pendant 16 semaines au moins à 0 °C, en présence de 14 ou 20 % de dioxyde de carbone plus 21 % d'oxygène. On l'a aussi observé chez les fruits californiens entreposés avec des taux élevés de dioxyde de carbone.

TRANSLUCIDITÉ DU PÉRICARPE

On a observé ce défaut chez le kiwi entreposé à l'air ou en atmosphère contrôlée à 0 °C. Il se présente sous la forme de plaques translucides dans le tissu externe du péricarpe, autour du pédoncule, et peut gagner les côtés du fruit (fig. 34). Les chercheurs néo-zélandais ont observé un blettissement semblable après plus de 16 semaines à 0 °C en présence de 10 ou de 14 % de dioxyde de carbone plus 21 % d'oxygène. La translucidité du péricarpe est plus grave après un entreposage prolongé, mais elle peut s'observer après 12 semaines à 0 °C et est des plus apparentes après maturation ultérieure à l'entreposage, à 20 °C. La translucidité qui apparaît sous atmosphère contrôlée est moins prononcée, et elle est reliée à la fois aux faibles taux d'oxygène et aux taux élevés de dioxyde de carbone. Les taux très élevés de dioxyde de carbone (de 3 à 7 %) n'aggravent pas davantage

Fig. 37 Feuilles engorgées d'une laitue pommée entreposée dans 0,5 % d'oxygène à 0 °C.

Fig. 38 Symptômes du brunissement sur une laitue pommée Prize entreposée dans 5 % de dioxyde de carbone plus 2 % d'oxygène pendant 10 jours à 0 °C.

les symptômes. La présence d'éthylène (0,50 µL/L) dans l'atmosphère d'entreposage exacerbe l'évolution des symptômes. En présence de ce gaz, ces derniers, à tous les taux de dioxyde de carbone, sont au moins aussi graves que ceux qui se manifestent durant l'entreposage à l'air à 0 °C.

GRANULATION DU PÉRICARPE

Elle se manifeste surtout autour du pédoncule, mais à l'instar de la translucidité, elle peut gagner les côtés du fruit (fig. 35). Ses symptômes ont été signalés tant chez le kiwi de la Nouvelle-Zélande que chez celui de la Californie, après entreposage à 0 °C. Elle est également plus grave si l'entreposage est prolongé après mûrissement à 20 °C. Contrairement à la translucidité, toutefois, elle est aussi grave chez les fruits conservés à différents taux de dioxyde de carbone (de 0 à 7 %) plus 2 % d'oxygène que chez les fruits entreposés à l'air. L'apport d'éthylène (0,50 µL/L) à l'atmosphère d'entreposage augmente toutefois le nombre de fruits touchés.

Il n'existe aucune corrélation évidente entre la translucidité du péricarpe et la granulation, car les symptômes peuvent se présenter indépendamment l'un de l'autre. Le rôle possible de la température d'entreposage ou celui de la variabilité saisonnière n'ont pas été décrits pour aucun des deux symptômes.

INCLUSION BLANCHE

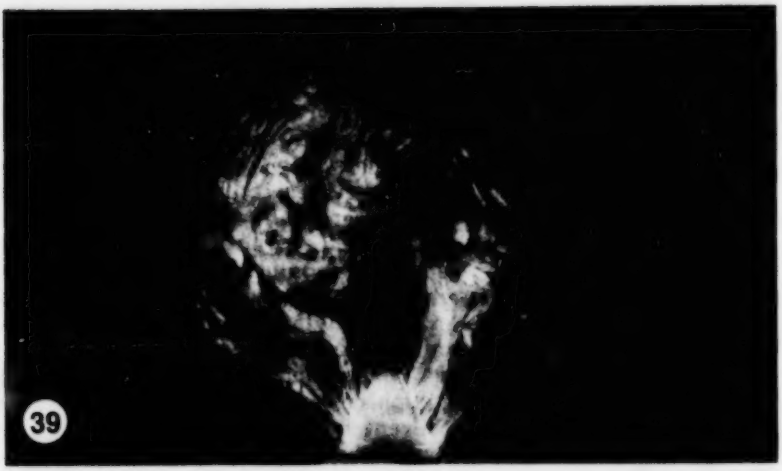
Cette inclusion n'a été signalée que chez le kiwi de la Californie. Elle est en rapport direct avec la quantité d'éthylène dans l'atmosphère contrôlée et on ne l'a pas observée chez les fruits retirés des atmosphères contrôlées sans éthylène ou entreposés à l'air avec ou sans ce gaz. Le phénomène semble résulter de l'interaction synergique du dioxyde de carbone et de l'éthylène et comporterait l'interruption du métabolisme de l'amidon dans le coeur du fruit. L'évolution des symptômes est étroitement reliée à l'augmentation de la teneur en matières solubles et au déclin de la teneur en amidon durant les 6 à 8 premières semaines d'entreposage. Il s'ensuit la formation de plaques blanches nettes dans le tissu du coeur qui sont très visibles chez le fruit mûr (fig. 36). On a observé les symptômes dès la troisième semaine d'entreposage à 0 °C. Les facteurs de déclenchement et d'aggravation du phénomène comprennent la teneur en dioxyde de carbone et en éthylène durant l'entreposage, le moment et la durée de l'exposition à l'éthylène ainsi que la température d'entreposage. Les études préliminaires montrent que l'entreposage à faible taux d'oxygène (2 %) plus l'éthylène ne provoquent pas l'apparition de l'inclusion blanche, tandis que 5 % de dioxyde de carbone dans l'air plus l'éthylène la provoquent. Lorsque le fruit est entreposé à des taux variables de dioxyde de carbone (de 0 à 7 %), les symptômes sont les plus graves à 5 et à 7 % de dioxyde de carbone. On

peut aussi observer une faible incidence de l'inclusion blanche dans les fruits entreposés dans 3 % de dioxyde de carbone.

L'incidence et la gravité de l'inclusion blanche dépendent également de la concentration d'éthylène (de 0,05 à 5,0 µL/L). On observe peu de différences dans la gravité ou l'incidence lorsque le fruit est exposé à l'éthylène, à des concentrations de 5,0, de 1,0 ou de 0,5 µL/L pendant moins de 4 semaines. L'évolution des symptômes à ces trois concentrations s'accélère après la quatrième semaine d'entreposage à 0 °C et reste assez constante entre la 6e et la 24e semaine. Les fruits exposés à 0,1 µL/L durant l'entreposage sous atmosphère contrôlée réagissent de façon intermédiaire, tandis que la présence de 0,05 µL/L se traduit constamment par des symptômes légers. La concentration seuil d'éthylène pour l'apparition de l'inclusion blanche est de moins de 0,05 µL/L.

Le moment et la durée de l'exposition à l'éthylène (0,5 µL/L) durant l'entreposage sous atmosphère contrôlée (5 % de dioxyde de carbone plus 2 % d'oxygène) peuvent aussi influer sur l'apparition de l'inclusion blanche. Si l'exposition ininterrompue à l'éthylène est retardée de 2 semaines après le début de l'entreposage, il s'établit un retard correspondant de 2 semaines dans l'apparition et l'évolution de l'inclusion. Lorsque le fruit est soumis à des expositions brèves à l'éthylène, au début de l'entreposage, l'incidence et la gravité des symptômes sont d'importance moyenne, ce qui montre que l'exposition continue à l'éthylène n'est pas nécessaire pour l'apparition de l'inclusion blanche dans le coeur. Si l'exposition à l'éthylène est retardée jusqu'au moment où la concentration de matières solubles augmente dans le fruit, l'inclusion blanche se forme à des concentrations très faibles d'éthylène, ce qui montre que toute exposition à ce gaz durant l'entreposage sous atmosphère contrôlée à 0 °C peut se traduire par l'apparition du phénomène.

La température d'entreposage influe également sur l'évolution du phénomène. Ce dernier possède une incidence et une gravité similaires lorsque le fruit est entreposé dans 5 % de dioxyde de carbone plus 2 % d'oxygène plus l'éthylène à 0,5 µL/L, à la température de 2,5 ou de 0 °C, bien que les symptômes se manifestent plutôt à 2,5 °C. À 5 ou à 10 °C, la formation de l'inclusion est considérablement réduite, ce qui montre l'existence d'un seuil thermique à 2,5 ou 5 °C pour l'apparition du phénomène.



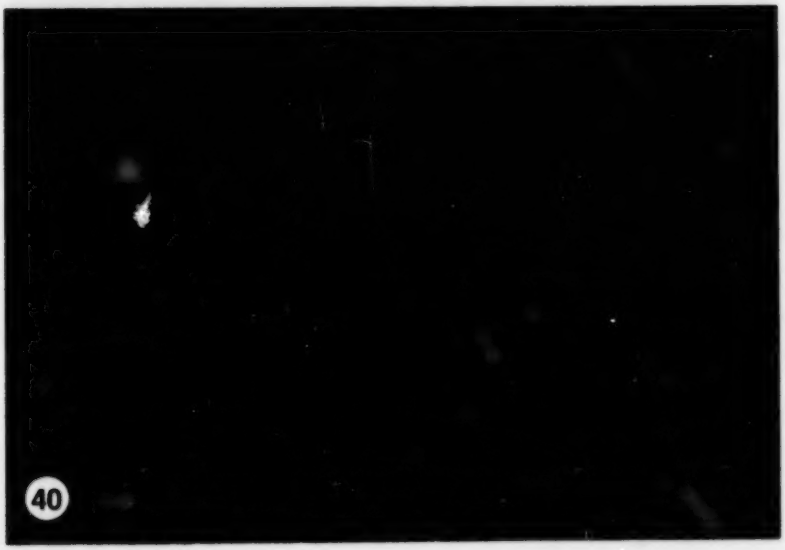


Fig. 39 Détérioration des feuilles du coeur d'une laitue pommée entreposée dans 20 % de dioxyde de carbone plus 17 % d'oxygène pendant 10 jours à 0 °C.

Fig. 40 Détérioration attribuable aux faibles taux d'oxygène sur la pêche Sunhigh entreposée dans 0 % de dioxyde de carbone plus 0 % d'oxygène pendant 9 semaines à 0 °C puis dans l'air, pendant 6 jours, à 20 °C.

Fig. 41 Détérioration attribuable aux faibles taux d'oxygène, sur une nectarine Late Le Grand entreposée dans 0 % de dioxyde de carbone plus 0 % d'oxygène pendant 3 semaines à 0 °C, puis dans l'air pendant 6 jours, à 20 °C.

Fig. 42 Détérioration attribuable aux faibles taux d'oxygène sur une pêche Redhaven entreposée dans 0 % de dioxyde de carbone plus 0 % d'oxygène pendant 9 semaines à 0 °C, puis dans l'air pendant 4 jours, à 20 °C.

LAITUE

A.A. Kader et W.J. Lipton

FEUILLES ENGORGÉES D'EAU

Les feuilles extérieures et les feuilles orbiculaires des pommes de laitue exposées à de faibles taux d'oxygène (0,5 % ou moins pour plus de 4 jours à 0 à 5 °C) peuvent se couvrir de plaques allant de brillantes à engorgées d'eau, grises et nécrosées (fig. 37; Lipton et al., 1972). Les feuilles du coeur (les plus jeunes) peuvent aussi porter des taches superficielles brun rouge sur leur nervure médiane, habituellement sur la face intérieure. Cet accident peut être évité par une ventilation convenable des véhicules étanches de transport ainsi que par la maîtrise des conditions qui, en entreposage sous atmosphère contrôlée, abaissent les concentrations d'oxygène sous 1 %.

TACHE BRUNE

Cette détérioration se présente sous la forme de lésions ovales à irrégulières, de jaunes à brunes, qui frappent surtout les côtés de la nervure médiane, à la partie proximale de la feuille (fig. 38; Brecht et al., 1973; Lipton, 1987).

La tache brune provient de l'exposition à des taux de dioxyde de carbone supérieurs à 2 %. Elle est favorisée par les températures près de 0 °C, les faibles concentrations d'oxygène, l'apport de dioxyde de carbone et l'éthylène. La vulnérabilité des groupes de laitues et des cultivars de chaque groupe diffère considérablement. L'endommagement peut s'intensifier durant les 2 ou 3 jours d'aération ultérieure, à 10 °C.

L'incidence du brunissement peut être réduit si on évite l'échange restreint d'air ou les conditions qui, sous atmosphère contrôlée, amènent l'accumulation de dioxyde de carbone au-dessus de 2 % durant le transport ou l'entreposage temporaire; à cette fin, on peut utiliser des produits qui absorbent le dioxyde de carbone.

DOMMAGES CAUSÉS AUX FEUILLES DU COEUR

Cette détérioration se présente sous la forme d'un brunissement, à teinte rougeâtre, des bordures ou de toute la surface des feuilles du coeur (les plus jeunes) des laitues iceberg (fig. 39) ou Butterhead.

Cette détérioration provient de l'exposition à des concentrations de dioxyde de carbone de plus de 5 %, quelle que soit la température, en contraste avec le brunissement, qui est favorisé par les basses températures. L'incidence de cette détérioration peut être réduite par une ventilation convenable ou par l'utilisation d'absorbeurs de dioxyde de carbone, ce qui évite l'exposition à des concentrations élevées de ce gaz durant la manutention de la laitue après la récolte.

PÊCHES ET NECTARINES

C.Y. Wang, A.E. Watada et R.E. Anderson

BRUNISSEMENT DE LA PEAU

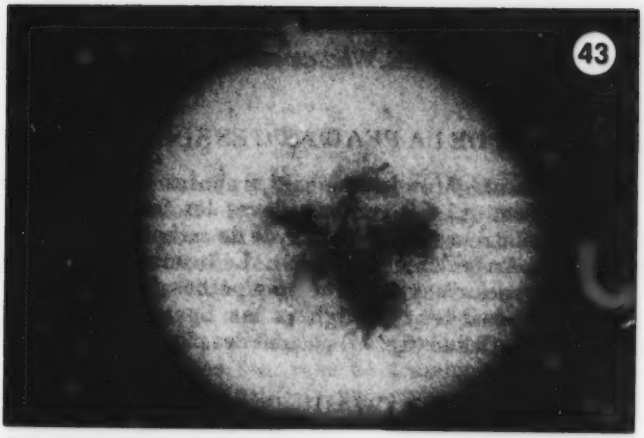
Les pêches Sunhigh et Loring sont frappées d'un brunissement intense de la peau, qui fait contraste avec les fruits à peau saine, lorsqu'elles sont entreposées sans dioxyde de carbone, à 0 % d'oxygène et à 0 °C (fig. 40; Anderson et al., 1969). Le brunissement de la peau causé par la carence d'oxygène chez les pêches Redhaven n'est pas aussi foncé que chez les Sunhigh et les Loring, tandis que les nectarines Late Le Grand (fig. 41) portent des piqûres noires.

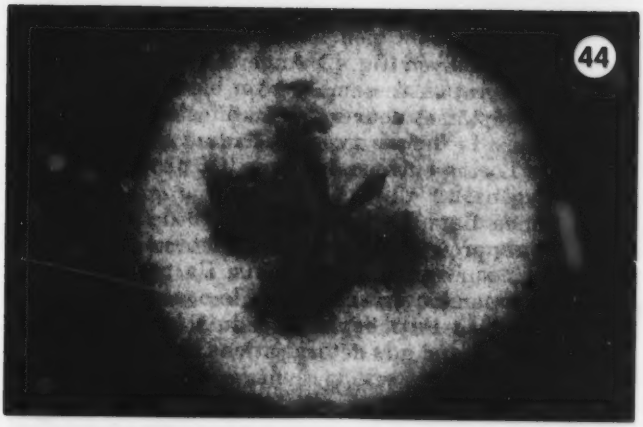
DÉCOLORATION DE LA CHAIR

Les détériorations internes attribuables à un taux nul de dioxyde de carbone et d'oxygène sont bien définies dans la chair des Sunhigh, des Loring et des Redhaven (fig. 42; Anderson et al., 1969). Chez ces cultivars, la détérioration ressemble à un blettissement de couleur brun gris. Les symptômes peuvent se manifester près de la peau ou autour du noyau. Le même type d'accident peut survenir chez certaines pêches Loring entreposées dans 0 % de dioxyde de carbone plus 0,25 % d'oxygène.

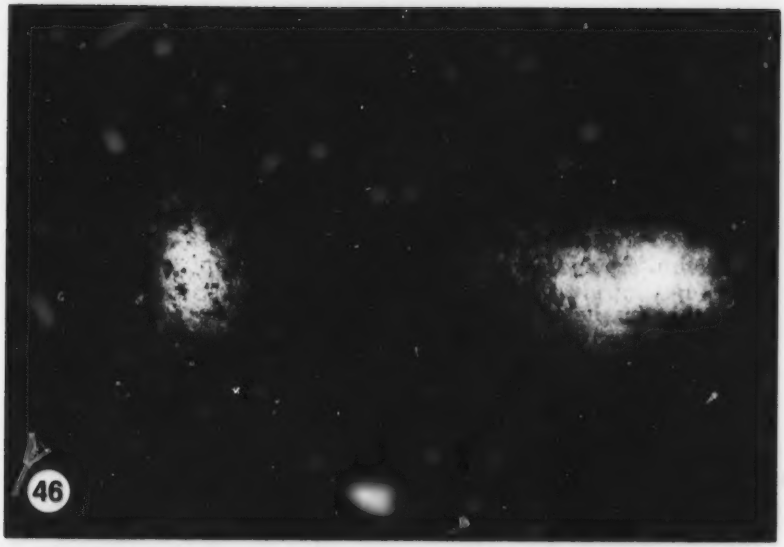
Les nectarines Late Le Grand sont moins vulnérables aux dommages internes provoqués par les faibles taux d'oxygène. Quand ces détériorations surviennent, toutefois, ils prennent également l'aspect d'un blettissement gris entourant le noyau. L'ajout de 5 % de dioxyde de carbone à l'atmosphère réduit la vulnérabilité des nectarines Late Le Grand aux détériorations attribuables aux faibles taux d'oxygène.

Les symptômes attribuables aux faibles taux d'oxygène chez les pêches et les nectarines se confondent facilement avec ceux du blettissement interne, causé par le refroidissement ou un entreposage prolongé au froid. Pour aider à distinguer ces deux types de détériorations, nous avons résumé, dans un tableau comparatif, les symptômes des uns et des autres.


43


44

45



47 Taux élevé de CO_2 Taux normal

Fig. 46 Moucheture noire de la poire d'Anjou entreposée sous atmosphères peu oxygénées ou à taux élevés de dioxyde de carbone ou les deux.

Fig. 47 Détérioration causée par des taux élevés de dioxyde de carbone, sur des fraises Pajaro entreposées dans 30 % de dioxyde de carbone pendant 10 jours à 5 °C.

◀ **Fig. 43** Coeur brun d'une poire d'Anjou entreposée sous atmosphères peu oxygénées et avec du dioxyde de carbone.

◀ **Fig. 44** Coeur brun et médulleux d'une poire Bosc entreposée sous atmosphères peu oxygénées avec du dioxyde de carbone.

◀ **Fig. 45** Brunissement du coeur d'une poire Bartlett entreposée pendant une longue période sous atmosphères peu oxygénées, avec du dioxyde de carbone.

Tableau 1 Comparaison des symptômes qui, chez les pêches et les nectarines sont attribuables à de faibles taux d'oxygène ou au blettissement

Détériorations attribuables aux faibles taux d'oxygène	Blettissement
externes et internes	interne
bien délimités	diffus dans la chair
peuvent se manifester n'importe quand durant l'entreposage	se manifeste surtout après le passage d'une basse température à la température de mûrissement
brunissement	décoloration : rouge, jaune ou brun
pas nécessairement secs	peut être sec et mou

POIRES

P.M. Chen

COEUR BRUN DE L'ANJOU

Cette détérioration provient de l'entreposage prolongé sous atmosphère contrôlée dans 2 % d'oxygène et plus de 1 % de dioxyde de carbone ou dans 1 % d'oxygène et plus de 0,1 % de dioxyde de carbone. Les tissus du coeur entourant les carpelles brunissent, de même que la cavité et la paroi interne de ces derniers (fig. 43). Le brunissement des cavités de tout le coeur peut être très prononcé. La détérioration se limite surtout à l'intérieur du coeur.

COEUR BRUN MÉDULLEUX DE LA BOSC

Cette détérioration provient de l'entreposage prolongé sous atmosphère contrôlée à 2,5 % d'oxygène et à plus de 1 % de dioxyde de carbone ou à 1 % d'oxygène et à plus de 0,1 % de dioxyde de carbone. Son symptôme est semblable à celui du coeur brun de l'Anjou. Toutefois, les cavités brunissantes peuvent englober la chair du coeur ainsi que le cortex de tout le fruit (fig. 44).

FORMATION DE CAVERNES OU BRUNISSEMENT DE LA CHAIR DE LA BARTLETT

Cette détérioration attribuable au dioxyde de carbone provient d'un entreposage prolongé sous atmosphère contrôlée à 2 % d'oxygène et à plus de 1,5 % de dioxyde de carbone ou à 1 % d'oxygène et à plus de 1 % de dioxyde de carbone. Les symptômes diffèrent de ceux qui frappent les poires Anjou et Bosc. Le tissu cortical, près de la région vasculaire et à l'extérieur de la périphérie du coeur, brunit légèrement et se perce de nombreuses petites cavernes. Tout le coeur peut rester intact, sans endommagement (fig. 45).

BRUNISSEMENT PRONONCÉ DE LA PEAU DE L'ANJOU

Cette détérioration provient de l'entreposage prolongé sous atmosphère contrôlée à taux élevé de dioxyde de carbone ou à faible taux d'oxygène ou aux deux à la fois. Les taux des deux gaz incriminés n'ont pas encore été déterminés. On observe que le fruit dont la maturité est avancée est plus vulnérable. La détérioration caractéristique est tout à fait semblable à celle que cause l'ammoniac, mais la couleur brun foncé ne se limite pas à la région autour des lenticelles. Sous le microscope, on observe que quelques centaines de cellules épidermiques deviennent brun foncé. La répartition de la couleur est aléatoire sur la peau du fruit (fig. 46).

FRAISES

A.A. Kader

FRAISES FONCÉES OU POURPRES

L'apparition d'une couleur rouge foncé à pourpre dans les tissus extérieurs des fraises avec, en même temps, la disparition de la couleur rouge des tissus internes est un symptôme de l'endommagement causé par le dioxyde de carbone (fig. 47; Dinamarca et Mitchell, 1986). Cette décoloration peut être causée par la migration des anthocyanines vers les tissus extérieurs ou par leur dénaturation, du fait de modifications du pH sous l'action du dioxyde de carbone. On peut également déceler des arômes atypiques.

L'exposition à plus de 20 % de dioxyde de carbone pendant plus de 5 jours entre 0 et 5 °C provoque un endommagement. La gravité de la détérioration s'accroît avec la concentration du dioxyde de carbone, la durée de l'exposition et la température. La vulnérabilité des cultivars est variable.

On peut prévenir cette détérioration en évitant l'exposition à plus de 20 % de dioxyde de carbone durant le transport et l'entreposage temporaire.

BIBLIOGRAPHIE

Anderson, R.E. 1967. Experimental storage of eastern-grown Delicious apples in various controlled atmospheres. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 91:810–820.

Anderson, R.E.; Parsons, C.S.; Smith, W.L., Jr. 1969. Controlled atmosphere storage of eastern-grown peaches and nectarines. U.S. Dep. Agric., Mark. Res. Rep. 836. 19 pp.

Arpaia, M.L.; Mitchell, F.G.; Kader, A.A.; Mayer, G. 1985. Effects of 2 % oxygen and varying concentrations of carbon dioxide with or without ethylene on the storage performance of kiwifruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 110:200–203.

Arpaia, M.L.; Mitchell, F.G.; Kader, A.A.; Mayer, G. 1986. Ethylene and temperature effects on softening and white core inclusions of kiwifruit stored in air or controlled atmospheres. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 111:149–153.

Artés, F.; Escriche, A.; Guzman, G.; Marin, J.G. 1981. Storage trials of 'Violeta' artichokes in controlled atmospheres. Pages 1073–1085 *in* Studi sul Carciofo. Proceedings Third International Congress on Artichoke Studies, Bari, Italie.

Barmore, C.R.; Purvis, A.C.; Fellers, P.J. 1983. Polyethylene film packaging of citrus fruit: Containment of decaying fruit. J. Food Sci. 48:1558–1559.

Ben-Arie, R.; Sonego, L. 1985. Modified atmosphere storage of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch) with ethylene removal. Scientia Hortic. 27:263–273.

Blanpied, G.D.; Smock, R.M. 1961. Two-factorial experiments on controlled atmosphere storage of McIntosh apples. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 78:35–42.

Bramlage, W.J.; Bareford, P.H.; Blanpied, G.D.; Dewey, D.H.; Taylor, S.; Porritt, S.W.; Lougheed, E.C.; Smith, W.H.; McNicholas, F.S. 1977. Carbon dioxide treatments for McIntosh apples before CA storage. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 102:658–662.

Brecht, P.E.; Kader, A.A.; Morris, L.L. 1973. The effect of composition of the atmosphere and duration of exposure on brown stain of lettuce. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 98:536–538.

Carne, W.M.; Martin, D. 1938. The influence of carbon dioxide concentration on brown heart and other storage disorders. J. Aust. Commonw. Sci. Ind. Res. Organ. 11:47–60.

Chen, P.M.; Mellenthin, W.M.; Kelley, S.B.; Facteau, T.J. 1981. Effects of low oxygen and temperature on quality retention of 'Bing' cherries during prolonged storage. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 106:533–535.

Couey, H.M.; Olsen, K.L. 1975. Storage response of Golden Delicious apples after high carbon dioxide treatment. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 100:148–150.

Davis, P.L.; Roe, B.; Bruemner, J.H. 1973. Biochemical changes in citrus fruits during controlled-atmosphere storage. J. Food Sci. 38:225–9.

Dewey, D.H. 1962. Factors affecting quality of Jonathan apples stored in controlled atmospheres. Vol. 1. P. 278 *in* Proceedings 16th International Horticulture Congress, Bruxelles.

Dinamarca, A.; Mitchell, G. 1986. Responses of strawberries to elevated CO_2. Rapport inédit, Department of Pomology, University of California, Davis (Calif.).

Eaks, I.L.: Ludi, W A. 1960. Effect of temperature, washing, and waxing on the composition of the internal atmosphere of orange fruits. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 76:220–228.

Eaves, C.A.; Hill, H. 1940. Functional disorders of apples. Agric. Can. Publ. 694.

Escriche, A.; Artés, F.; Marin, J.G. 1982. Conservation d'artichauts en atmosphères contrôlées. Pages 336–341 *in* Progress in the design and operation of refrigerating equipment in the processing of fruit and vegetables by refrigeration. International Institute of Refrigeration Science and Technology, Paris.

Faust, M.; Shear, C.B.; Williams, M.W. 1969. Disorders of carbohydrate metabolism of apples. Bot. Rev. 35:168–194.

Fidler, J.C.; Mann, G. 1972. Refrigerated storage of apples and pears—A practical guide. Commonw. Bur. Hortic. Plant. Crops Hortic. Rev. 2. 65 pp.

Fidler, J.C.; Wilkinson, G.B.; Edney, K.L.; Sharples, R.O. 1973. The biology of apple and pear storage. Commonw. Bur. Hortic. Plant. Crops Hortic. Rev. 3:81–85

Geeson, J.D.; Browne, K.M. 1980. Controlled atmosphere storage of white winter cabbage. Ann. Appl. Biol 95:267–272.

Hatton, T.T.; Cubbedge, R.H. 1977. Effects of prestorage carbon dioxide treatments and delayed storage on stem-end rind breakdown of 'March' grapefruit. HortScience 12:120–121.

Harman, J.E.; McDonald, B. 1983. Controlled atmosphere storage of kiwifruit: Effects on storage life and fruit quality. Acta Hortic. 138:195–201.

Hicks, J.R.; Ludford, P.M. 1981. Effects of low ethylene levels on storage of cabbage. Acta Hortic. 116:65–73.

Hulme, A.C. 1956. Carbon dioxide injury and the presence of succinic acid in apples. Nature 178:218–219.

Isenberg, F.M. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Hortic. Rev. 1:337–394.

Isenberg, F.M.; Sayles, R.M. 1969. Modified atmosphere storage of Danish cabbage. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 94:447–449.

Johnson, D.S. 1986. Late storage corking—A physiological disorder of Cox's Orange Pippin apples stored in ultra-low oxygen conditions. Pages 207–301 *in* Proceedings Workshop on Pome Fruit Quality. Université de Bonn, Bonn.

Kader, A.A.; Morris, L.L. 1977. Relative tolerance of fruits and vegetables to elevated CO_2 and reduced O_2 levels. Pages 260–265 *in* Dewey, D.H. éd. Controlled atmospheres for the storage and transport of perishable agricultural commodities. Proceedings 2nd National Controlled Atmosphere Research Conference. Mich. State Univ. Hortic. Rep. 28.

Knee, M. 1973. Effects of controlled atmosphere storage on respiratory metabolism of apple fruit tissue. J. Sci. Food Agric. 24:1289–1298.

Lau, O.L. 1983. Storage responses of four apple cultivars to a rapid CA procedure in commercial controlled-atmosphere facilities. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 108:530–533.

Lau, O.L.; Looney, N.E. 1977. Water dips increase CO_2-associated peel injury in Golden Delicious apple. HortScience 12:503–504.

Lau, O.L.; Looney, N.E. 1978. Factors influencing CO_2-induced peel injury of Golden Delicious apples. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 103:836–838.

Lidster, P.D.; Blanpied, G.D.; Lougheed, E.C. 1985. Factors affecting the progressive development of low-oxygen injury in apples. Pages 57–69 *in* Blankenship, S.M. éd. Proceedings 4th National Controlled Atmosphere Research Conference. N. Carolina State Univ. Hortic. Rept. 126.

Lipton, W.J. 1987. Carbon dioxide-induced injury of romaine lettuce stored in controlled atmospheres. HortScience 22:461–463.

Lipton, W.J.; Harris, C.M. 1976. Response of stored cauliflower (*Brassica oleracea* L., Botrytis group) to low-O_2 atmospheres. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 101:208–211.

Lipton, W.J.; Harris, C.M.; Couey, H.M. 1967. Culinary quality of cauliflower stored in CO_2-enriched atmospheres. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 91:852–858.

Lipton, W.J.; Mackey, B.E. 1987. Physiological and quality responses of Brussels sprouts to storage in controlled atmospheres. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 112:491–496.

Lipton, W.J.; Stewart, J.K.; Whitaker, T.W. 1972. An illustrated guide to the identification of some market disorders of head lettuce. U.S. Dep. Agric., Mark. Res. Rep. 950. 17 pp. 19 planches.

Lougheed, E.C.; Franklin, E.W. 1968. Injury to apples caused by controlled atmospheres. Report of the Committee on Horticultural Research 1967, pp. 154–155 (résumé). Canadian Horticultural Council, Ottawa, Ont.

Lougheed, E.C.; Franklin, E.W. 1969. Injury to apples caused by controlled atmospheres. Report of the Committee on Horticultural Research 1968, p. 137 (résumé). Canadian Horticultural Council, Ottawa, Ont.

Lougheed, E.C.; Lidster, P.D. Proctor, J.T.A. 1982. Friction discoloration of McIntosh apples from low-oxygen controlled atmosphere storage. Plant Dis. 66:1119–1120.

McDonald, B.; Harman, J.E. 1982. Controlled atmosphere storage of kiwifruit. I. Effect on fruit firmness and storage life. Sci. Hortic. 17:113–123.

Meheriuk, M.; Porritt, S.; Lidster, P.D. 1977. Effects of carbon dioxide treatment on controlled atmosphere storage behavior of McIntosh apples. Can. J. Plant Sci. 57:457–460.

Mellenthin, W.M.; Wang, C.Y. 1974. Friction discoloration of 'd'Anjou' pears in relation to fruit size, maturity, storage and polyphenoloxidase. HortScience 9:592–593.

Miccolis, V.; Saltveit, M.E., Jr. 1988. Influence of temperature and controlled atmosphere storage of 'Green Globe' artichoke buds. HortScience 23:736–741.

Mitchell, F.G.; Arpaia, M.L.; Mayer, G. 1982. Modified atmosphere storage of kiwifruits (*Actinidia chinensis*). Pages 235–238 *in* Richardson, D.G.; Meheriuk, M., eds. Proceedings 3rd National Controlled Atmosphere Research Conference. Oregon State University School of Agriculture Symposium, Series 1, Timber Press, Beaverton Ore.

North, C.J., Bubb, M.; Cockburn, J.A. 1977. Storage of Cox's Orange Pippin apples in low levels of oxygen: Effects of picking date. Pages 90–91 *in* East Malling Research Station Annual Report 1976, East Malling, Kent, Angleterre.

Padfield, C.A.S. 1969. Storage of apples and pears. N.Z. Dep. Sci. Ind. Res. Bull. 111. 116 pp.

Patterson, M.E. 1982. CA storage of cherries. Pages 149–154 *in* Richardson, D.G.; Meheriuk, M., eds. Controlled atmospheres for storage and transport of perishable agricultural commodities. Proceedings 3rd National Controlled Atmosphere Research Conference. Oregon State University School of Agriculture Symposium, Series 1, Timber Press, Beaverton, Ore.

Patterson, M.E.; Melstad, J.L. 1977. Sweet cherry handling and storage alternatives. Pages 55–59 *in* Dewey, D.H., ed. Controlled atmospheres for the storage and transport of perishable agricul-

tural commodities. Proceedings 2nd National Controlled Atmosphere Research Conference. Mich. State Univ. Hortic. Rept. 28.

Pierson, C.F.; Ceponis, M.J.; McColloch, L.P. 1971. Market diseases of apples, pears, and quinces. U.S. Dep. Agric. Handb. 376:112.

Plagge, H.H.; Maney, T.J.; Pickett, B.S. 1935. Functional diseases of the apple in storage. Iowa State Agric. Exp. Stn. Bull. 329. 78 pp.

Porritt, S.W.; Mason, J.L. 1965. Controlled atmosphere storage of sweet cherries. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 87:128–130.

Ryall, A.L.; Lipton, W.J. 1979. Handling, transportation, and storage of fruits and vegetables. Vol. 1: Vegetables and melons. AVI Publishing, Westport, Conn.

Ryder, E.J.; De Vos, N.E.; Bari, M.A. 1983. The globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). HortScience 18:646–653.

Schomer, H.A.; Olsen, K.L. 1964. Storage of sweet cherries in controlled atmospheres. United States Department of Agriculture Report 529. 7 pp.

Sharples, R.O.; Stow, J.R. 1986. Recommended conditions for the storage of apples and pears. Pages 165–170 *in* East Malling Research Station Annual Report 1985, East Malling, Kent, Angleterre.

Singh, B.; Littlefield, N.A.; Salunkhe, D.K. 1970. Effects of controlled atmosphere (CA) storage on amino acids, organic acids, sugars, and rate of respiration of 'Lambert' sweet cherry fruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 95:458–461.

Smock, R.M. 1977. Nomenclature for internal storage disorders of apples. HortScience 12:306–308.

Vakis, N.; Grierson, W.; Soule, J. 1973. Chilling injury in tropical and subtropical fruits. III: The role of CO_2 in suppressing chilling injury of grapefruit and avocados. Proc. Trop. Reg. Am. Soc. Hortic. Sci. 14:89–100.

Wardowski, W.F.; Albrigo, L.G.; Grierson, W.; Barmore, C.R.; Wheaton, T.A. 1975. Chilling injury and decay of grapefruit as affected by thiabendazole, benomyl, and CO_2. HortScience 10:381–383.